PHILIPS

CURSUS BEDRIJFSELEKTRONICA

Elektronische componenten

Leerlingboek BS 9

Philips Nederland B.V. - Afd. Onderwijsactiviteiten

Derde druk 1981

PHILIPS

CURSUS BEDRIJFSELEKTRONICA

Elektronische componenten

Leerlingboek BS 9

Philips Nederland B.V. - Afd. Onderwijsactiviteiten

N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven, Nederland 1975

Derde druk 1981

DEEL B COMPONENTEN

INHOUDSOPGAVE

B 308

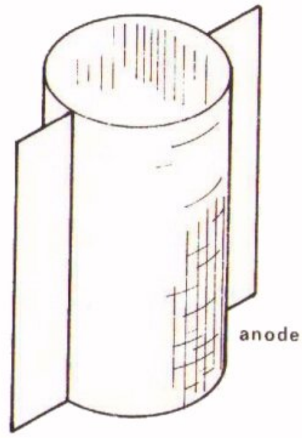
D E T R I O D E

INLEIDING

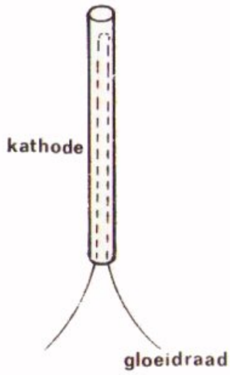
In deze les gaan we kennis maken met een nieuwe component, de *triode*. We bespreken de constructie en een aantal eigenschappen van deze buis. In de volgende lessen komen de karakteristieken van de triode aan de orde.

CONSTRUCTIE VAN EEN TRIODE

De naam triode wil zeggen dat de buis *drie* elektroden heeft. De constructie van een triode is in hoofdzaak gelijk aan die van een diode. In een luchtledige glazen ballon bevindt zich een kathode, die door middel van een gloeidraad kan worden verhit. Rondom de kathode staat de anode.



Tussen anode en kathode vindt U het *rooster*, dat vaak niets anders is dan een fijn metalen draadje in de vorm van een spiraal. De drie elektroden worden op hun plaats gehouden door bevestiging op pennen die via de onderkant van de glazen buis naar buiten zijn gevoerd. Tevens maakt men gebruik van mica-plaatjes die zorgen voor een vaste opstelling van kathode, rooster en anode ten opzichte van elkaar.

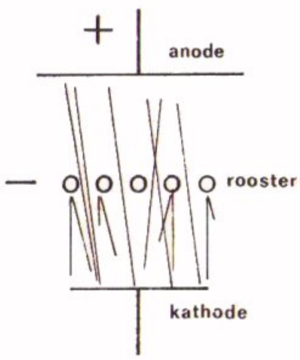




DE WERKING VAN DE TRIODE

We hebben gezien dat men bij de triode tussen kathode en anode een rooster heeft aangebracht. Waarom heeft men dit gedaan?

Bij de verklaring van de werking van de vacuümdiode hebben we gezien dat er na aansluiting van een positieve anodespanning een stroom van elektronen vanuit de kathode naar de anode gaat lopen. Dit is bij de triode net zo.
Bij de triode bevindt zich tussen kathode en anode nog een rooster, maar de elektronenstroom ondervindt hiervan nauwelijks hinder. Door nu op het rooster een negatieve spanning aan te sluiten is het mogelijk de elektronenstroom binnen de buis te verminderen. Het negatieve rooster zal de eveneens negatieve elektronen immers afstoten.

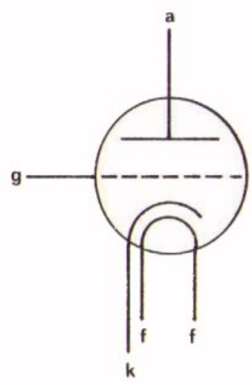


Als op het rooster slechts een kleine negatieve spanning staat, slagen een aantal elektronen er toch wel in door de mazen van het rooster te glippen.

Als het rooster een vrij grote negatieve spanning heeft, oefent het een zó sterke afstotende werking uit op de elektronen dat zij geen kans meer krijgen om de anode te bereiken.

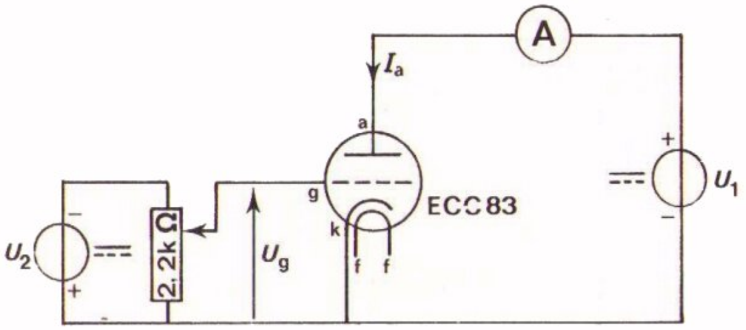
SYMBOOL

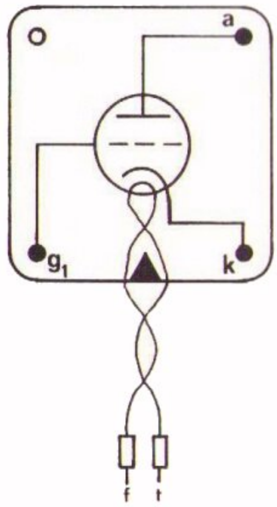
Hiernaast ziet U het schemasymbool van een triode. Het rooster is hierin gestippeld getekend. Het wordt aangeduid met de kleine letter g (van het engelse woord "grid" = rooster).



OPDRACHT: HET REGELEN VAN DE ANODE-STROOM

Op het vorige blad is uitgelegd dat de stroom door de triode afneemt naar mate er een grotere negatieve spanning op het rooster staat. Om U een indruk te geven hoe de stroom door de triode (de zogenaamde *anodestroom*) door de spanning op het rooster wordt beïnvloed, gaan we een opdracht uitvoeren.





ECC 83 op vierpool

- Bouw deze schakeling.

- Sluit de gloeidraad aan op 6,3 V.

- Stel U_1 in op 250 V en U_2 op 8 V.

  wees voorzichtig
  deze hoge spanning is gevaarlijk!



- Stel de stroommeter in op het 30 mA-bereik.

- Varieer de spanning op het rooster U_g enige malen tussen ongeveer -1 V en -3 V en kijk op de stroommeter wat er gebeurt met de anodestroom.
  Hoe groot is I_a bij U_g = - 1 V?

  I_a = [ ]

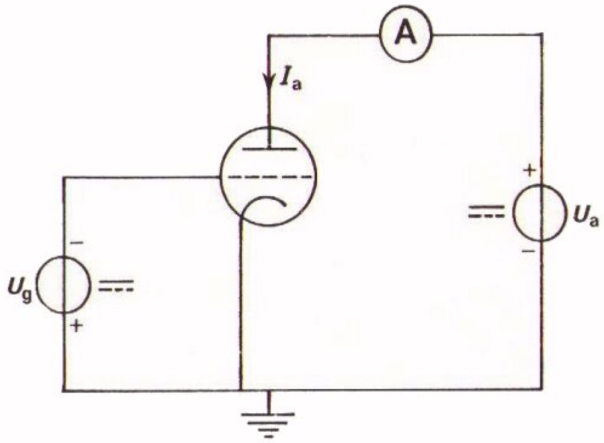
  Hoe groot is I_a bij U_g = - 3 V?

  I_a = [ ]

- Bij welke roosterspanning wordt I_a = 0?

  U_g = [ ]

Bij de vorige opdracht hebt U geconstateerd dat de gelijkstroom in de anodeleiding afhankelijk is van de grootte van de gelijkspanning op het rooster. We vatten nog eens samen:



- U hebt gezien dat de spanning op het rooster negatief is ten opzichte van de kathode. Bij de proef was de kathode doorverbonden met aarde. We spreken in zo'n geval van een *geaarde kathode schakeling* of ook wel van *kathodebasisschakeling*.

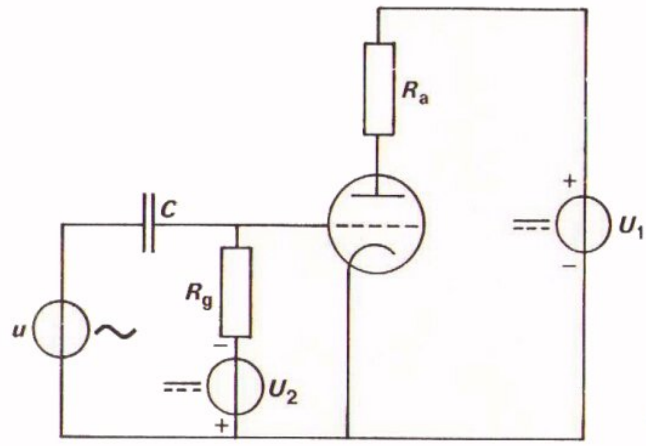
- De spanning op de anode U_a houdt men positief ten opzichte van kathode.

- De elektronenstroom loopt in de buis van katode naar anode. De anodestroom I_a, de elektrische stroom dus, loopt van anode naar katode.

Bij de triode noemen we de gelijkspanning op het rooster een *instelspanning*. We spreken ook over een *instelstroom*; dat is een andere naam voor de anode-gelijkstroom door de buis.
Bij toepassingen van de triode wordt vaak ook een wisselspanning aan het rooster toegevoerd. Deze veroorzaakt dan een wisselstroom door de buis.
Om deze wisselspanning en -stroom is het meestal begonnen, maar voor een goede werking moet de buis op de juiste waarden van gelijkspanning en -stroom zijn *ingesteld*. Het is de (gelijkstroom) *instelling* die de eigenschappen van de buis voor het verwerken van de wisselspanning bepaalt.

DE TRIODE ALS WISSELSPANNINGSVERSTERKER

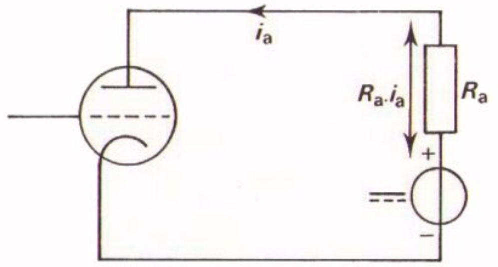
De triode wordt vaak als wisselspanningsversterker gebruikt. De schakeling ziet er dan in principe zo uit:



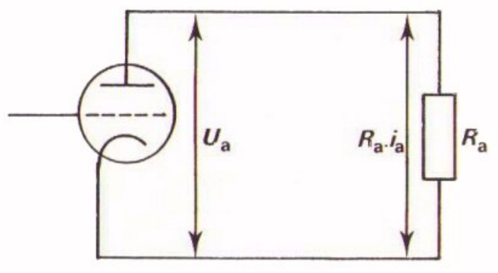
- De condensator C is nodig om te voorkomen dat het rooster door de wisselspanningsbron wordt kortgesloten voor gelijkspanning.
- De weerstand R_g voorkomt kortsluiting voor wisselspanning door de gelijkspanningsbron.

Ga dit na.

Op het rooster staat nu een pulserende gelijkspanning. De wisselspanningscomponent in deze roosterspanning veroorzaakt een wisseling van de anodestroom.
Dit betekent dat over de weerstand R_a behalve een gelijkspanning nu ook een wisselende spanning $R_a.i_a$ ontstaat.
De buis doet nu in de schakeling dienst als leverancier van wissel*stroom* zowel als wissel*spanning*.
Men kan het circuit waarin de buis dit doet tekenen zoals hiernaast.



Bedenken we dat de gelijkspanningsbron voor wisselstroom een kortsluiting is, dan is de buis als leverancier van wisselstroom ook weer te geven als hiernaast is gedaan.

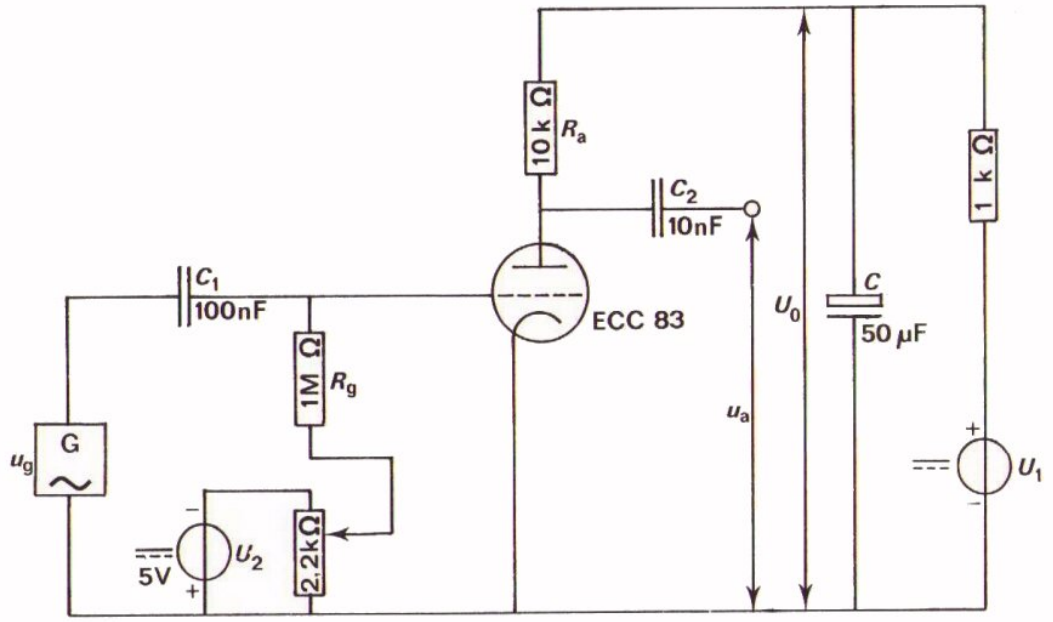


We kunnen nu direct inzien dat de wisselspanning $R_a.i_a$ die de buis over R_a levert dezelfde is als de wisselspanning u_a die tussen anode en kathode van de buis staat.

Als we $R_a.i_a$ moeten meten, kunnen we dus even goed u_a meten.

De uitgangswisselspanning u_a kan groter zijn dan de ingangswisselspanning op het rooster u_g.
Conclusie: de triode kan wisselspanning versterken.

OPDRACHT: DE TRIODE ALS WISSELSPANNINGSVERSTERKER.



- Bouw deze schakeling. De voedingsspanning U_0 wordt via een *RC* filter verkregen. Hiermee wordt hinderlijke bromspanning op u_a vermeden.
- Stel U_g in op -1,35 V met behulp van een universeelmeter.
- Voer vanuit de 600Ω-uitgang van de L.F.generator een wisselspanning met U_{gt} = 0,1 V toe met een frequentie van 1 kHz. Lees de waarde van de ingestelde spanning op de scoop af.
- Stel U_0 in op 250 V. PAS OP!
- Meet de topwaarde van anodewisselspanning met de scoop:

U_{at} = [V]

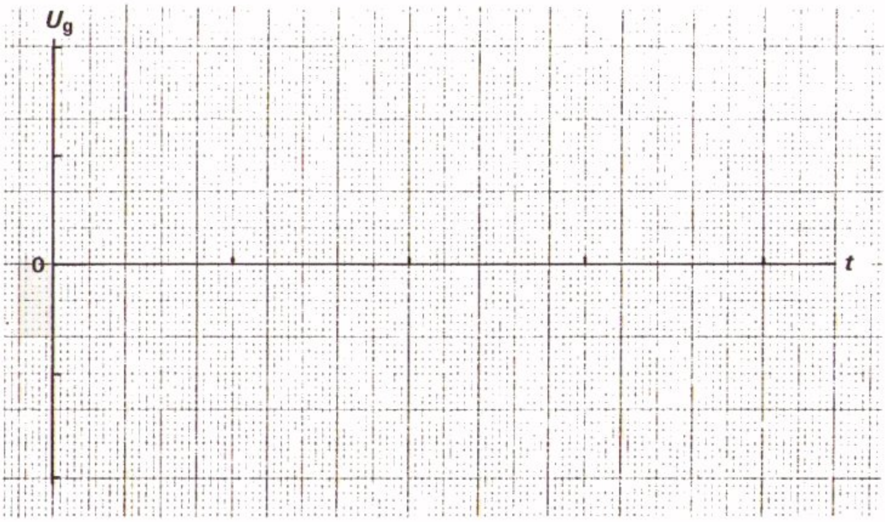
- De uitgangswisselspanning $\hat{u}_a$ is groter dan de ingangswisselspanning $\hat{u}_g$. Er treedt dus versterking van wisselspanning op. De verhouding van $\hat{u}_a$ en $\hat{u}_g$ noemt men de *wisselspanningsversterking*. Deze wordt aangeduid met A_u.

Dus: $$A_u = \frac{\hat{u}_a}{\hat{u}_g}$$

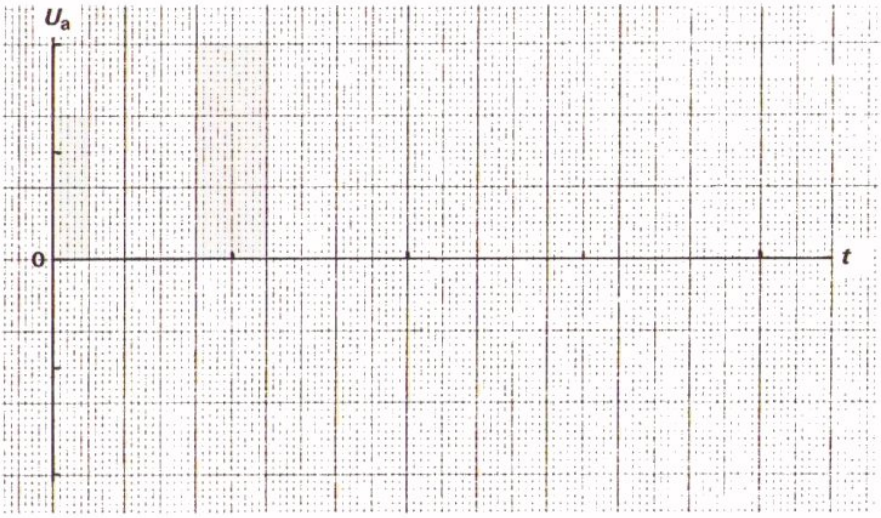
Hoe groot is de wisselspanningsversterking in dit geval?

A_u = [ ]

- Trigger de scoop nu extern met behulp van de 15 Ω - uitgang van de generator en bekijk de fase van het uitgangssignaal u_a ten opzichte van het ingangssignaal u_g. Schets hieronder de roosterwisselspanning die U met de scoop op het rooster meet.



Schets hieronder de uitgangswisselspanning u_a die U met de scoop meet.



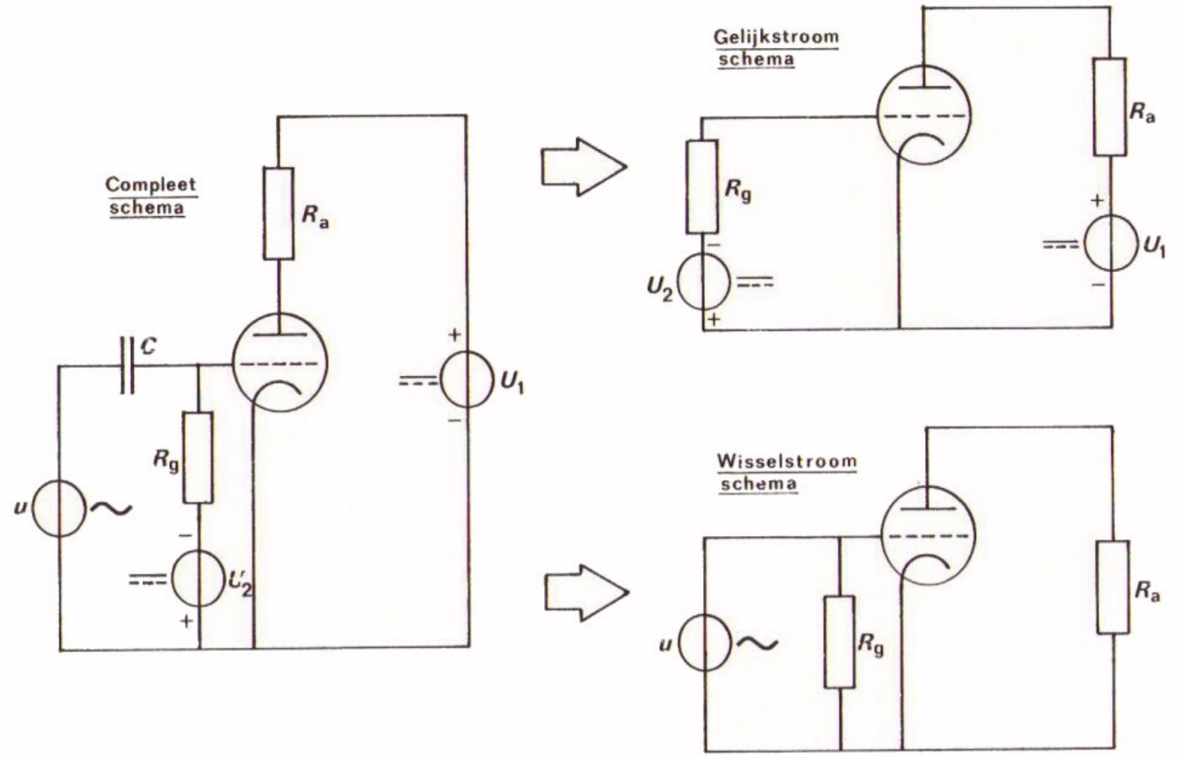
Trek nu de conclusie.

Uit- en ingangsspanning zijn:

[ ] in fase verschoven.

HET GELIJKSTROOMSCHEMA EN HET WISSELSTROOMSCHEMA

In het voorafgaande is het gedrag van de triode bekeken voor gelijk- en voor wisselstroom. Er zijn dan ook twee mogelijkheden om een schakeling met een triode te beschouwen. Is men geïnteresseerd in de gelijkstroomeigenschappen, dan bekijkt men het *gelijkstroomschema*. Is men geïnteresseerd in het wisselstroomgedrag, dan tekent men een *wisselstroomschema*. Hieronder ziet U een compleet schema en de daarvan afgeleide gelijkstroom- en wisselstroomschema's.

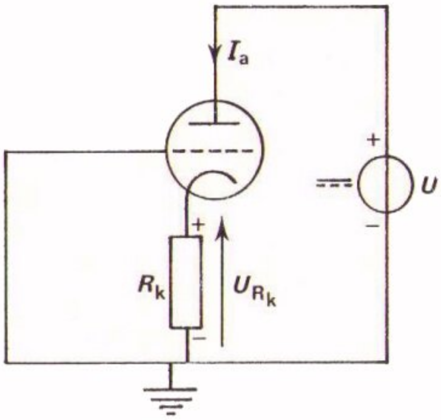


- In het gelijkstroomschema zijn de condensator en de wisselstroomspanningsbron weggelaten, omdat daar geen gelijkstroom kan lopen.

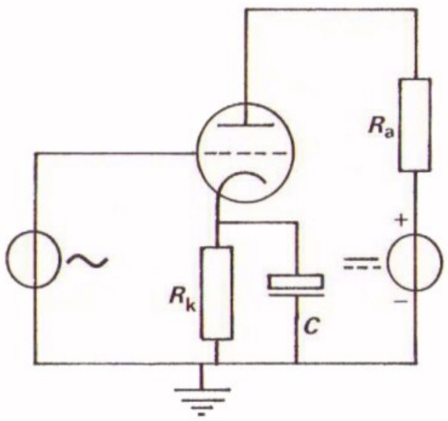
- In het wisselstroomschema zijn de condensator en de gelijkstroomspanningsbronnen weggelaten, omdat zij voor wisselstroom kortsluitingen zijn.

Vooral het wisselstroomschema moet U goed uit het complete schema kunnen afleiden, omdat het bij de verklaring van de werking van uitgebreide schakelingen tot vereenvoudiging leidt.

NOGMAALS DE INSTELLING



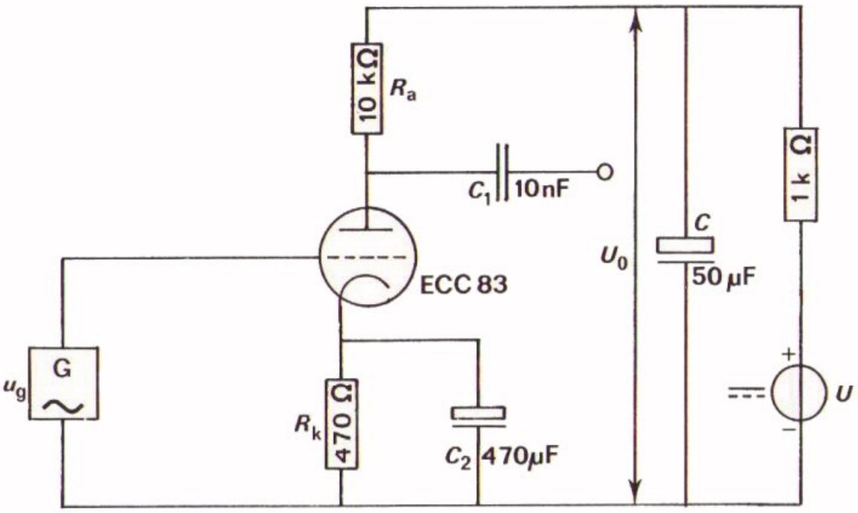
Hier ziet U een ogenschijnlijk totaal ander gelijkstroomschema van een triodeschakeling. Toch is het verschil met het voorafgaande schema niet zo groot als het lijkt. De spanning op de anode is nog steeds positief ten opzichte van de kathode. De stroom door de anode I_a loopt eveneens door de kathode en veroorzaakt over de in de kathodeleiding aangebrachte weerstand R_k een spanning. De kathode wordt daardoor positief ten opzichte van aarde. Het rooster ligt aan aarde,zodat de spanning op het rooster negatief is ten opzichte van de kathode. Voor gelijkspanning is de toestand precies hetzelfde gebleven als bij het schema van blad B308.4. De schakeling zorgt nu zelf voor een roosterspanning die negatief is ten opzichte van de kathode. Daarom spreekt men van *automatische negatieve instelling*. Het voordeel van deze schakeling is dat men slechts van één gelijkspanningsbron gebruik maakt.



Bij gebruik voor wisselspanning wordt in deze schakeling dikwijls parallel aan de kathodeweerstand R_k een grote condensator C aangebracht.

Voor wisselspanning wordt de kathodeweerstand kortgesloten; voor wisselspanning ligt de kathode dus aan aarde. Men noemt deze manier van doen *ontkoppeling*: de kathodeweerstand is door middel van C *ontkoppeld*. Op deze ontkoppeling komen we verderop terug.

We hebben gezien dat voor de instelling van de triode een afzonderlijke gelijkspanningsbron voor U_g niet nodig is. Het bleek mogelijk door middel van een kathodeweerstand automatisch een negatieve roosterspanning te verkrijgen. In volgende opdracht gaan we dit ervaren.



- Bouw deze schakeling.
  Hij is gelijk aan die bij de opdracht van blad B308.6, maar nu met automatisch negatieve instelling. R_k is door middel van C_2 kortgesloten voor wisselspanning (ontkoppeling).

- Stel U_0 weer in op 250 V. *Pas op!*

- Meet met een universeelmeter de gelijkspanning over de kathodeweerstand.

U_{Rk} [V]

- Stel van de wisselspanning U_{gt} in op 0,1 V bij f = 1 kHz.

- Meet de wisselspanningsversterking met behulp van een scoop.

A_u = [   ]

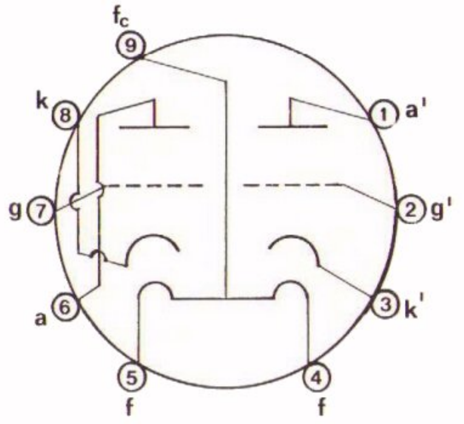
- Vergelijk dit resultaat met dat van blad B308.6.

CONCLUSIE:

Instelling en wisselspanningsversterking van deze schakeling en die van blad B308.6 zijn gelijk.

DE IN DEZE LES GEBRUIKTE BUIS

We maakten in deze les gebruik van een ECC 83, gemonteerd op een vierpool. Alleen de aansluitingen die bij de opdrachten van belang waren, stonden aangegeven: zie blad B308.3. Een ECC 83 is een buis met meer mogelijkheden. Er bevinden zich binnen de glazen ballon twee triodes; het is een zogenaamde dubbeltriode. In de praktijk moet u de elektrische verbindingen zelf aan de buisvoet solderen. Om nu te weten hoe de fabrikant de verschillende elektroden met de pennen onderaan de buis heeft verbonden, zoekt u de gegevens van de ECC 83 op in een buizenboek. U vindt daarbij volgend *onderaanzicht* van deze buis.



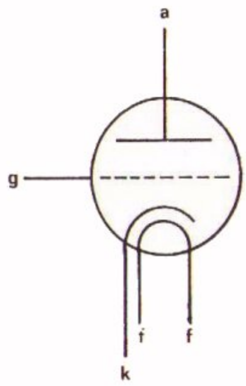
onderaanzicht
ECC 83

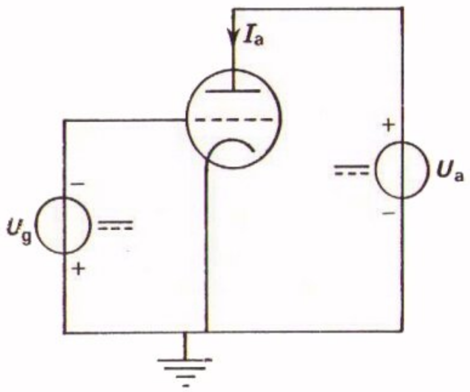
De ECC 83 is een buis met een zogenaamde *noval* buisvoet; hij heeft 9 pennen. Bij onze opdrachten maakten we gebruik van de aansluitingen 1 t/m 5.

SAMENVATTING

- Een triode is, zoals de naam al zegt, een elektronenbuis met drie elektroden:
  de anode, het rooster en de kathode.
  Het rooster is een spiraalvormige metalen draad die zich tussen kathode en anode bevindt.

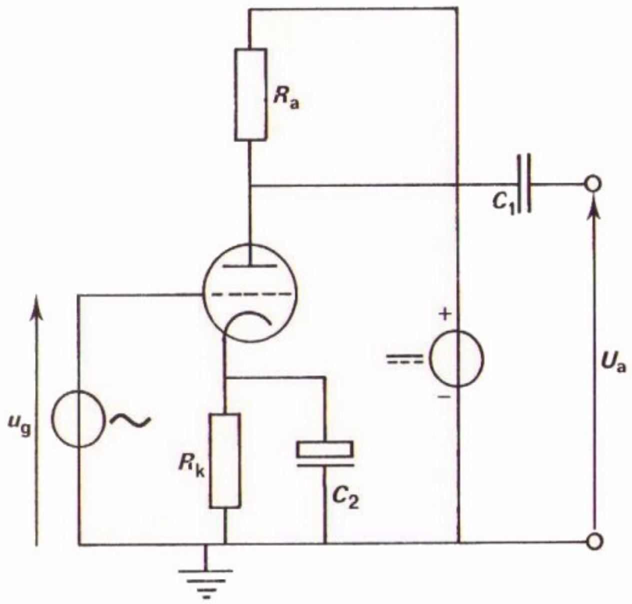
- Dit is het schemasymbool van de triode:





De anodestroom is bij een triode afhankelijk van de anodespanning U_a. Bij grotere U_a is ook I_a groter.
De anodestroom is verder afhankelijk van de spanning tussen rooster en kathode U_g. Naarmate het rooster een negatieve spanning bezit, wordt de anodestroom kleiner.

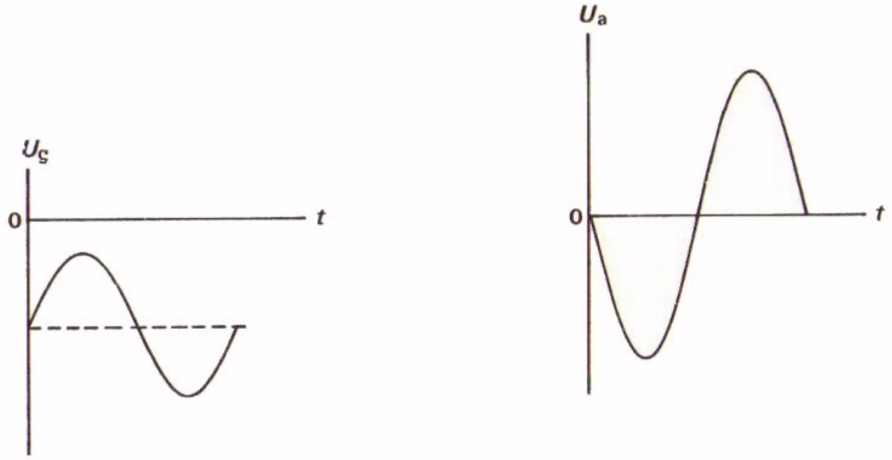
De roosterspanning en de anodegelijkspanning noemt men instelspanningen; de anodegelijkstroom de instelstroom.



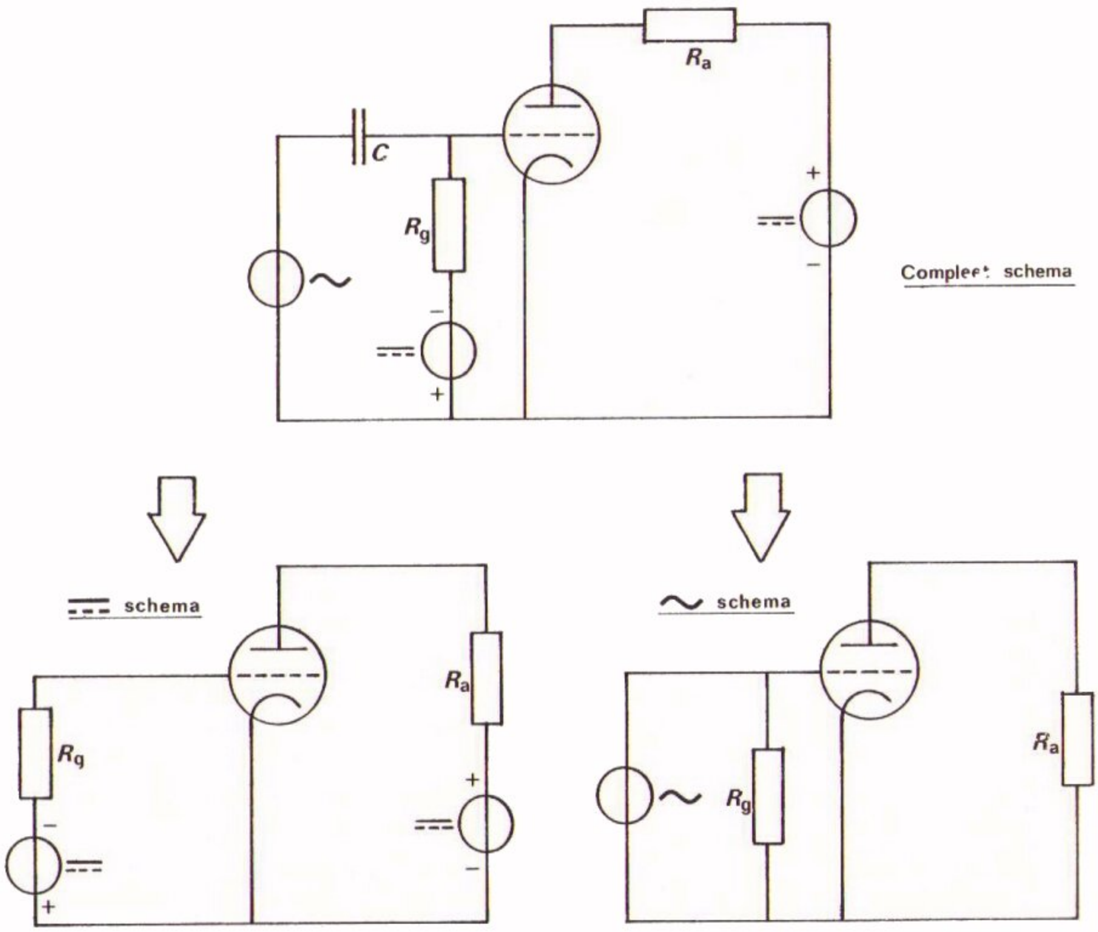
Dit is het schema van een triode, geschakeld als wisselspanningsversterker. De rooster-instelspanning wordt hier verkregen door de kathodeweerstand R_k. Deze weerstand is door de condensator C_2 ontkoppeld. Met de "wisselspanningsversterking" bedoelt men:

$$A_u = \frac{u_a}{u_g}$$

- Tussen de wisselspanningen u_a en u_g (de uitgangs- en ingangswisselspanning) bestaat een faseverschil van 180^0.



- Om het gelijkstroomgedrag en het gedrag voor wisselstroom goed te kunnen onderscheiden is het vaak handig uit het complete schema een gelijk- en wisselstroomschema af te leiden. Hieronder is dit gedaan.



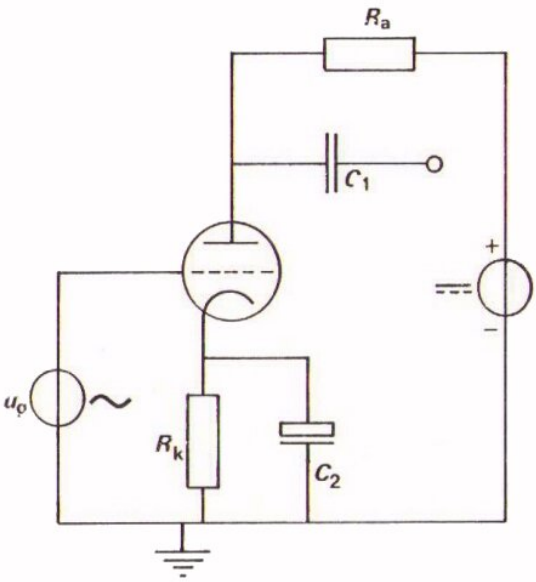
NAAM:

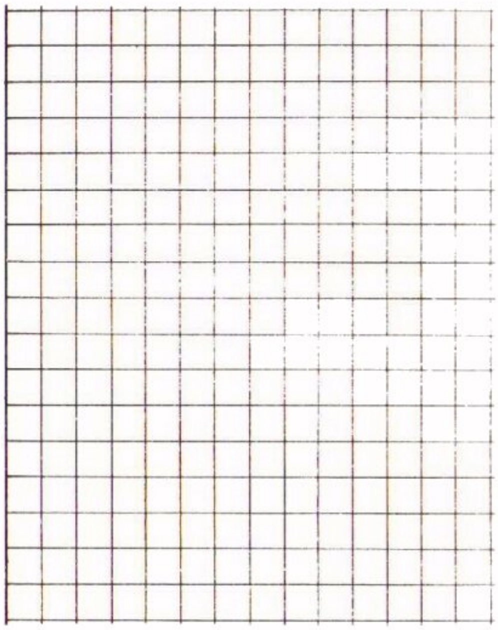
KLAS:

OEFENINGEN

1. Door een triode loopt een anodestroom I_a = 6 mA.
   De kathode weerstand R_k = 1 kΩ.
   Hoe groot is de instelspanning?

2. Teken hieronder het wisselstroomschema van deze schakeling.





3. Als in bovenstaande schakeling: u_g = 0,2 V,
   i_a = 1 mA ,
   R_a = 10 kΩ,

   hoe groot is dan de anodewisselspanning?

   u_a =

   Hoe groot is de wisselspanningsversterking?

   A_u =

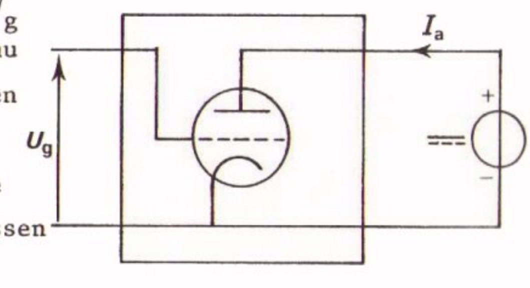
B 309

DE I_A - U_G - KARAKTERISTIEK

INLEIDING

De eigenschappen van een component worden pas geheel duidelijk aan de hand van zijn karakteristiek(en). Bij een vacuümdiode is de karakteristiek dan ook uitvoerig behandeld. Ook bij een triode gaan we dit doen.
Nu is een triode een ingewikkelder component dan een diode: hij heeft immers één aansluiting meer. Een triode heeft daarom verschillende karakteristieken. Eén daarvan komt in deze les aan de orde.

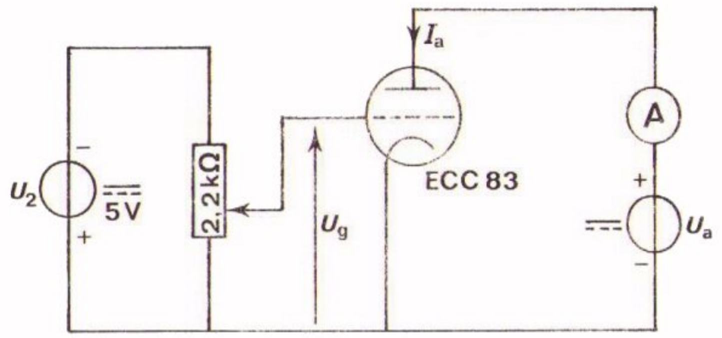
Bij een triode voeren we een spanning U_g toe en nemen een stroom I_a af. Het is nu van belang om te weten welke I_a door een bepaalde U_g veroorzaakt wordt.
Antwoord op die vraag krijgen we aan de hand van de grafiek die het verband tussen I_a en U_g vastlegt:



de zogenaamde I_a - U_g - *karakteristiek*.

OPDRACHT: METING VAN DE I_a - U_g - KARAKTERISTIEK

De anodestroom I_a hangt af van de grootte van de negatieve roosterspanning U_g. In deze opdracht gaan we bekijken hoe I_a afhangt van $-U_g$.



- Bouw deze schakeling.

- Stel U_a in op 250 V. *Pas op!*

- Stel U_2 in op ongeveer 5 V.

- Stel U_g met behulp van de potmeter en een universeelmeter achtereenvolgens in op de waarden van onderstaande tabel.

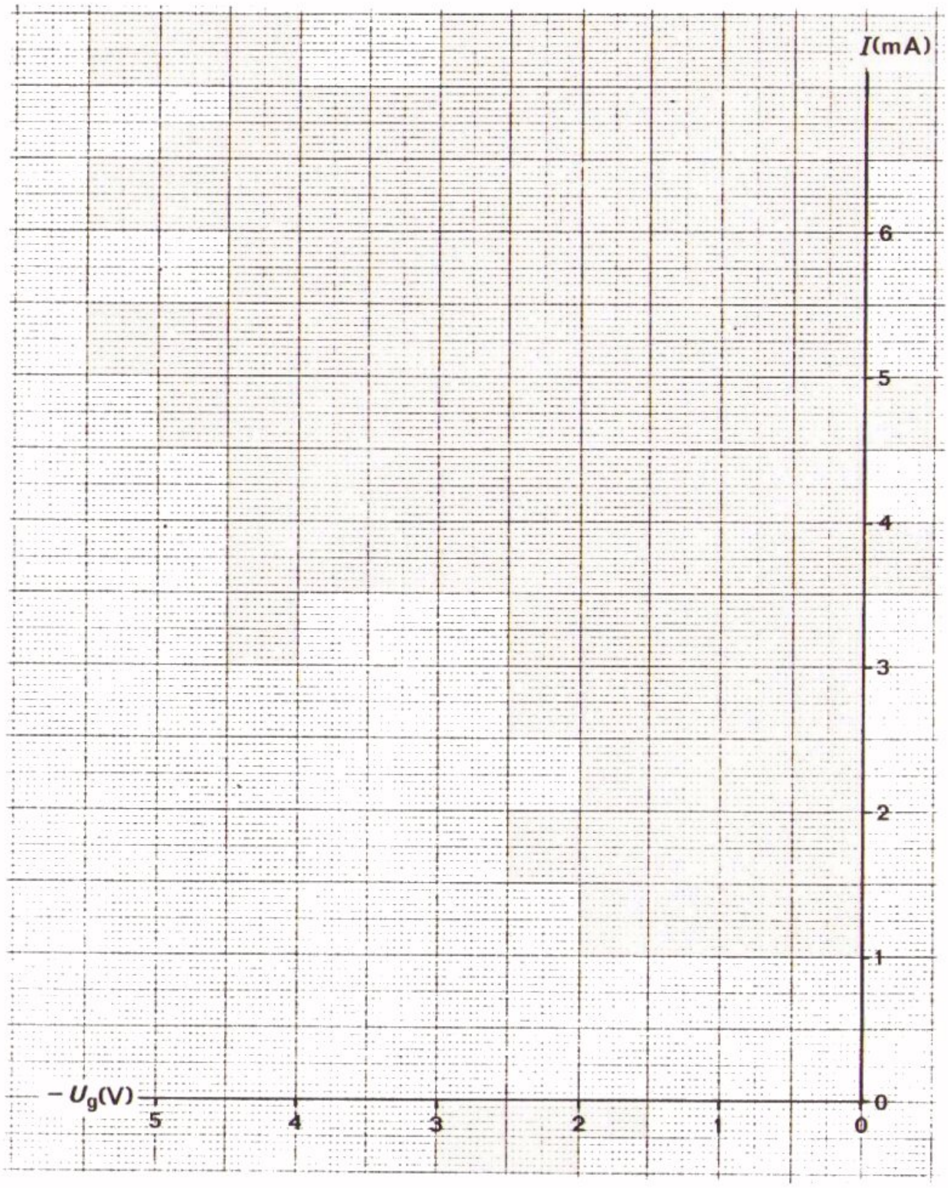
  Noteer telkens de bijbehorende waarde van de anodestroom.

U_a = 250 V

$-U_g$ (V)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
I_a (mA)										

- Zet vervolgens deze stroomwaarden grafisch uit in de grafiek op het volgend blad. Zet daarbij de spanningen uit langs de horizontale as en de stromen langs de verticale as.

- Verbind de meetpunten door een vloeiende lijn.



Bij de horizontale as in deze grafiek is $-U_g$ gezet. Dit is gebruikelijk omdat de getallen langs die as dan positief worden.

OPDRACHT: I_a - U_g - KARAKTERISTIEKEN BIJ ANDERE U_a.

Bij de vorige opdracht werd de I_a - U_g - karakteristiek bepaald bij een anodespanning U_a van 250 V.

Kiezen we een andere waarde voor de U_a, dan verandert daardoor ook de I_a - U_g - karakteristiek. Hij blijkt in de grafiek "op te schuiven". In deze opdracht zullen we dit zien.

- Meet met de schakeling van blad B309.2 bij U_a = 150 V en daarna bij U_a = 50 V.

- Noteer de gemeten waarden van I_a in onderstaande tabellen.

U_a = 150 V

$-U_g$ (V)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
I_a (mA)								

U_a = 50 V

$-U_g$ (V)	0	0,5	1	1,5	2	2,5
I_a (mA)						

- Zet de gemeten waarden weer uit in de grafiek op blad B309.3.

- Teken de karakteristieken die U nu hebt bepaald.

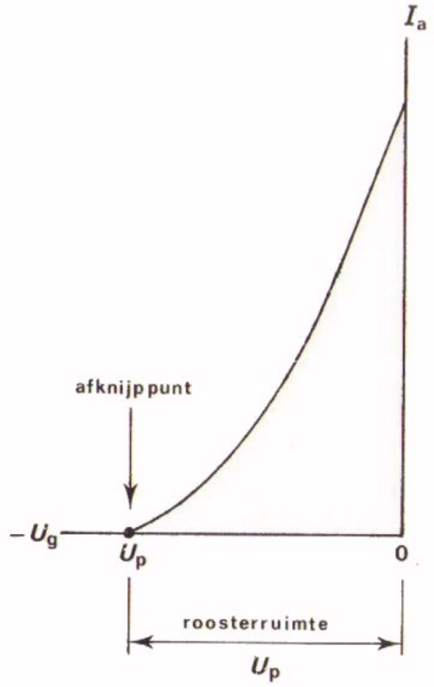
- Zet bij elke karakteristiek bij welke anodespanning U de meting hebt verricht.

ENKELE BIJZONDERHEDEN IN VERBAND MET DE I_a - U_g - KARAKTERISTIEK

In de grafiek op blad B309.3 staan nu drie verschillende I_a - U_g - karakteristieken, elk voor een andere U_a. Zo'n verzameling karakteristieken heet een *karakteristiekenbundel*.

Bij de getekende I_a - U_g - karakteristiek is de anodestroom maximaal als $-U_g = 0$. Bij de spanning U_p is de anodestroom 0. Het punt op de $-U$ - as waar $-U_g = U_p$ noemt men het *afknijppunt*.

Bij de *afknijpspanning* is de anodestroom "afgeknepen", d.w.z. nul geworden. (de p bij U_p komt van het engelse woord "pinch-off" = afknijpen).



De afstand langs de U_g - as van 0 tot U_p noemt men *roosterruimte*. Het begrip "roosterruimte" is van belang als men de buis met wisselspanning gaat sturen. De wisselspanning op het rooster mag met zijn toppen als regel niet buiten deze roosterruimte komen. De roosterruimte is dus blijkbaar bepalend voor de grootte van de top tot topwaarde van de maximaal te verwerken roosterspanning.

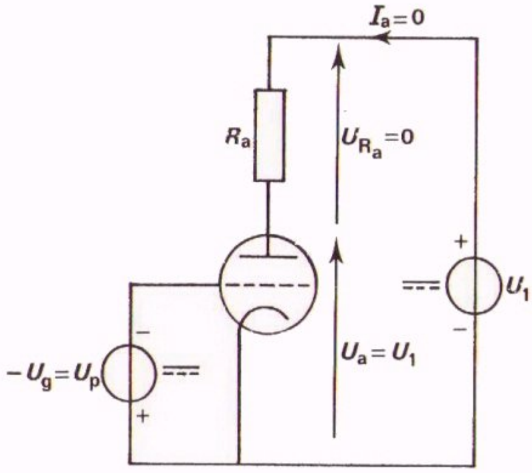
OEFENING

- Hoe groot is de door U gemeten roosterruimte van de ECC 83 bij U_a = 250V?

Roosterruimte = [ ]

- Bij welke spanning bevindt zich het afknijppunt van de ECC 83, als U_a = 50 V?

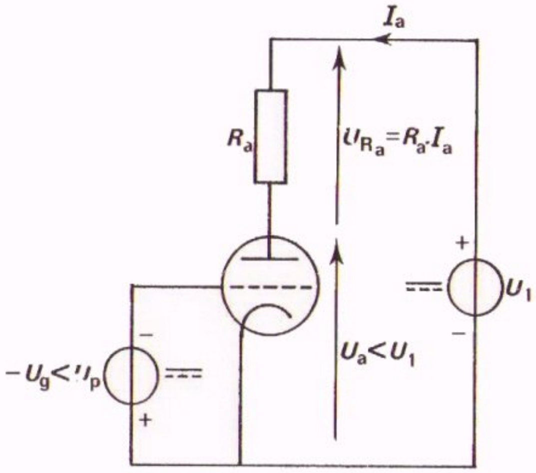
Afknijppunt bij [ ]



In een praktische schakeling is in de anodeleiding van de triode bijna altijd een anodeweerstand opgenomen. Deze weerstand heeft vanzelfsprekend invloed op de anodespanning.

In nevenstaande tekening veronderstellen we $-U_g = U_p$, zodat de buis is afgekenepen.
I_a is dan 0.
Dan is ook $U_{Ra} = 0$; en geldt dat $U_a = U_1$.

De anodespanning is gelijk aan de spanning van de gelijkspanningsbron.



In dit geval is U_g minder negatief en loopt er daardoor een zekere anodestroom I_a.
I_a veroorzaakt over R_a een spanning U_{Ra}.
U_a is nu kleiner dan U_1:

$$U_a = U_1 - U_{Ra}$$

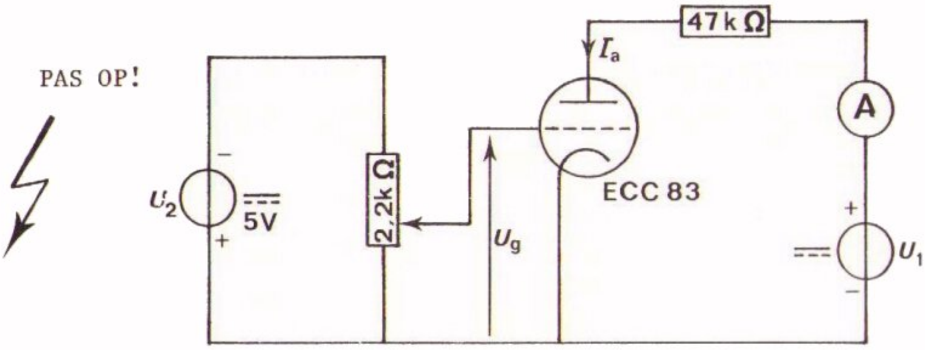
Hoe groter de stroom door de buis wordt, des te kleiner wordt de spanning die nog overblijft tussen anode en kathode. In de meting op het volgend blad gaat U de karakteristiek bepalen van de buis tezamen met de weerstand. Deze karakteristiek noemt men de *dynamische karakteristiek*. De karakteristiek van blad B309.3,waarbij $R_a = 0$, noemt men de *statische karakteristiek*.

Opmerking: de woorden "statisch" en "dynamisch" hebben hier dezelfde betekenis als bij de karakteristieken van de diode. De statische diodekarakteristiek was daar de karakteristiek van de diode alleen. De dynamische karakteristiek die van de diode met serieweerstand.

De statische karakteristiek hoort bij de component zoals de fabrikant die maakt. De dynamische karakteristiek is een karakteristiek van een serieschakeling van een component met een weerstand. Afhankelijk van de grootte van de weerstand die we gebruiken is de dynamische karakteristiek anders.

OPDRACHT: METING VAN DE DYNAMISCHE KARAKTERISTIEK

PAS OP!



- Wijzig de schakeling op Uw paneel in die volgens bovenstaand schema.

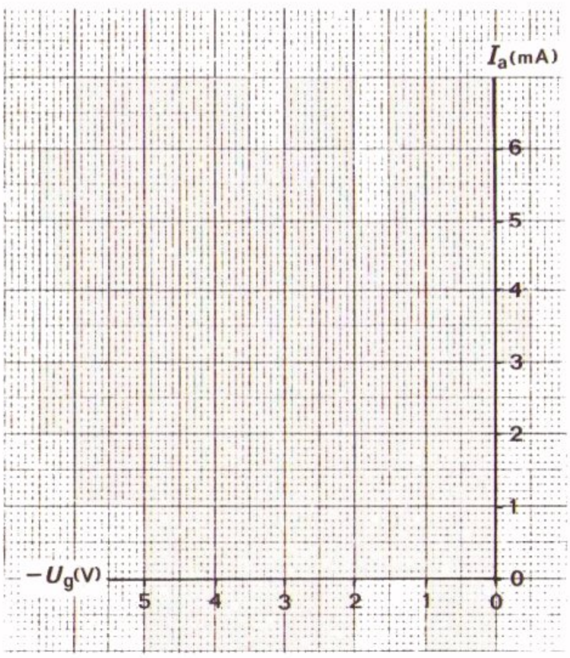
- Meet de I_a - U_g - karakteristiek bij U_1 = 250 V, en bij de U_g - waarden uit volgende tabel.
  Noteer telkens I_a.

$-U_g$ (V)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
I_a (mA)										

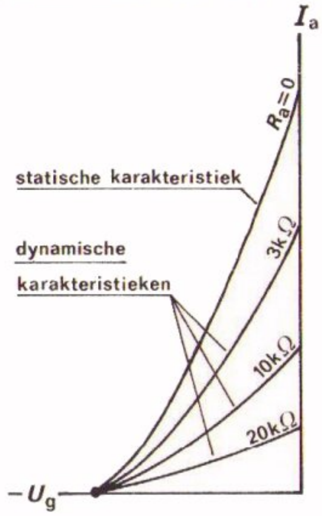
- Zet de gemeten waarden uit in de grafiek
- Verbind de verkregen punten door een vloeiende lijn.

- Neem de statische karakteristiek bij U_a = 250 V van blad B309.3 zorgvuldig over in de grafiek op het volgend blad.

STATISCHE EN DYNAMISCHE KARAKTERISTIEK VAN DE ECC 83 BIJ U_1 = 250 V.



Bij de laatste opdracht hebt U duidelijk kunnen vaststellen dat bij dezelfde voedingsspanning de statische karakteristiek steiler loopt dan de dynamische. In volgende figuur ziet U de statische en diverse dynamische karakteristieken van een triode.



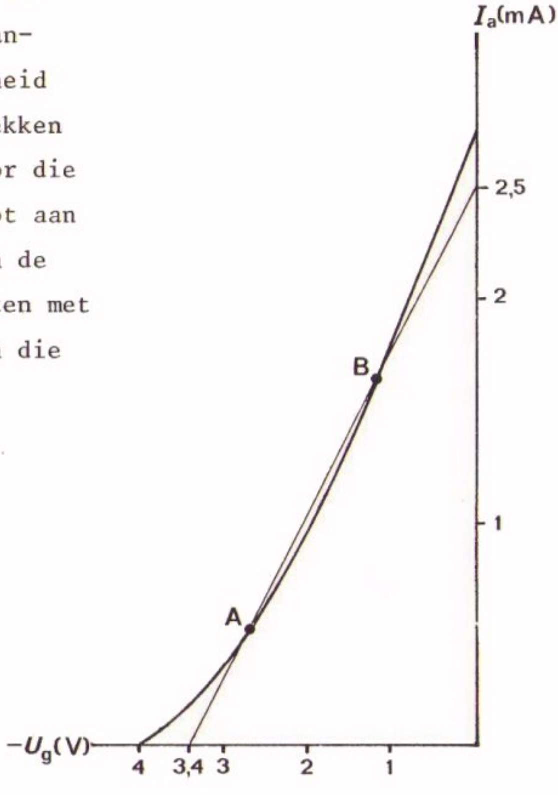
Naarmate de anodeweerstand R_a toeneemt, draait de karakteristiek meer naar rechts met het afknijppunt als draaipunt.

Als een karakteristiek vlakker loopt, dan is zijn *steilheid* kleiner. Steilheid is een veel gebruikte grootheid, die aangeduid wordt met de hoofdletter S.

Wat verstaan we nu onder de steilheid S?
We kunnen dit laten zien aan nevenstaande karakteristiek. Willen we de steilheid weten tussen de punten A en B, dan trekken we met een lineaal een rechte lijn door die punten en laten de rechte doorlopen tot aan de I_a - as en de U_g - as. We lezen dan de waarden op de assen af bij de snijpunten met die rechte lijn. In dit voorbeeld zijn die waarden:

$$I_a = 2{,}5 \text{ mA}$$

en $$-U_g = 3{,}4 \text{ V}$$



De steilheid tussen A en B is nu:

$$S = \frac{I_a}{-U_g} = \frac{2{,}5}{3{,}4} \text{ mA/V}$$

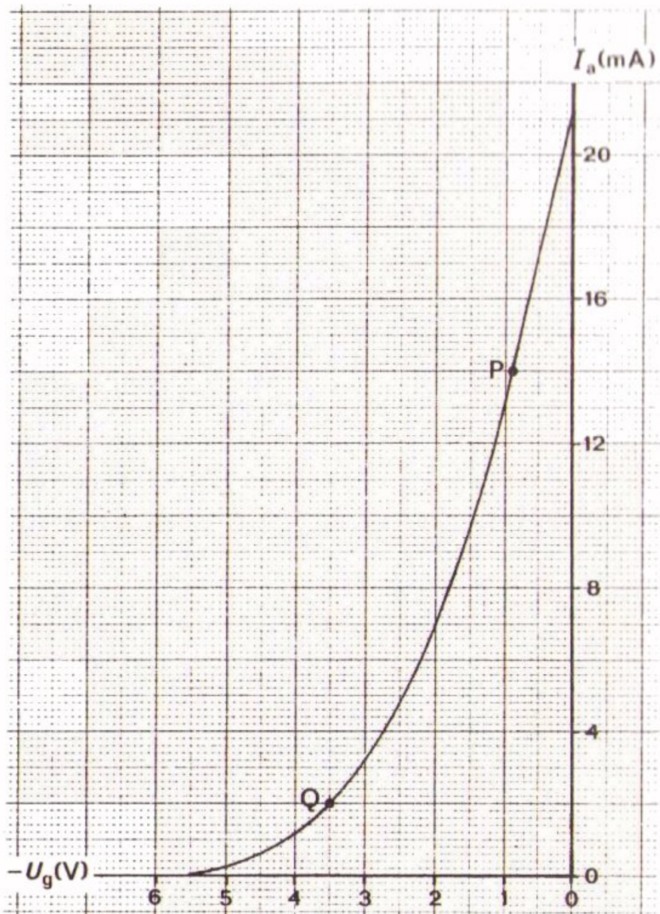
Of $$S = 0{,}73 \text{ mA/V}$$

Liggen A en B op een *statische* I_a - U_g - karakteristiek, dan spreekt men van de *statische steilheid*, aangeduid met S.
Liggen A en B op een *dynamische* I_a - U_g - karakteristiek, dan spreekt men van de *dynamische steilheid*, aangeduid met S_d.

OEFENINGEN

1. Bepaal de steilheid van deze karakteristiek tussen de punten P en Q.

   S = [mA/V]

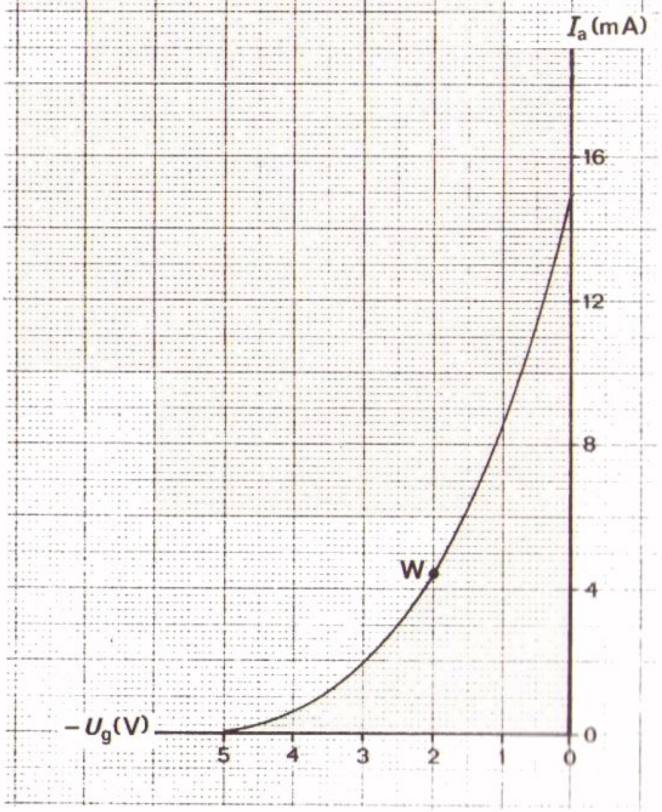


2. Bepaal de steilheid van deze karakteristiek in de buurt van het punt W.
   Neem naar beide zijden een variatie van de roosterspanning van 1 V.

   S = [   ]

   Bepaal S ook als de variatie naar beide zijden 2 V bedraagt.

   S = [   ]

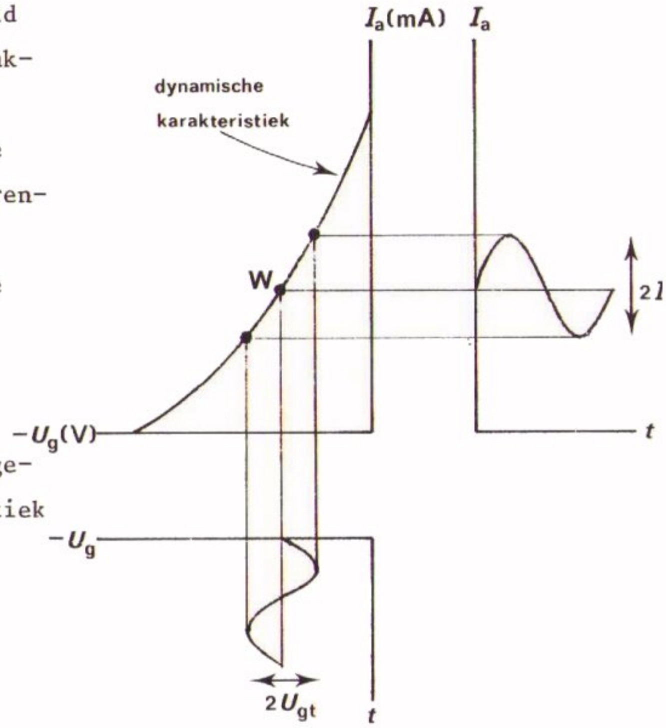


WAARVOOR IS DE STEILHEID TE GEBRUIKEN?

U kunt zich afvragen waarom we ons zo druk gemaakt hebben over het begrip "steilheid". In het volgende wordt dit duidelijk.

Bekijken we nog eens een voorbeeld van een dynamische $I_a - U_g$ - karakteristiek. Aan het rooster wordt een pulserende gelijkspanning die variaeert tussen de aangegeven grenzen toegevoerd.

Door "overhalen" kunnen we uit de grafiek snel vinden tussen welke waarden I_a varieert.



De dynamische steilheid van het gebruikte stukje van de karakteristiek is:

$$S_d = \frac{2I_{at}}{2U_{gt}}$$

Dit is te vereenvoudigen tot

$$S_d = \frac{i_a}{u_g},$$

en ook te schrijven als:

$$\boxed{i_a = S_d \cdot u_g}$$

Met deze formule is i_a te berekenen als S_d en u_g bekend zijn. Hier blijkt al het nut van S_d.

Ook de anodewisselspanning is nu te bepalen, immers:

$$u_a = R_a \cdot i_a$$

Of met bovenstaande formule:

$$u_a = R_a \cdot S_d \cdot u_g$$

We vinden nu een eenvoudige formule voor de wisselspanningsversterking van de triode:

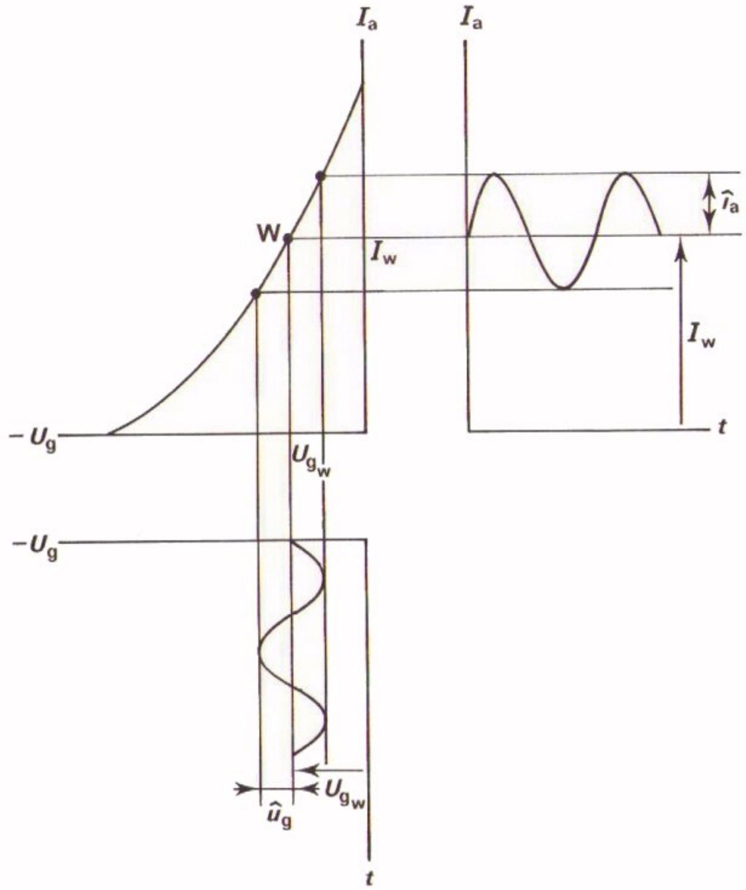
$$A_u = \frac{u_a}{u_g} = \frac{R_a \cdot S_d \cdot u_g}{u_g}$$

$$\boxed{A_u = S_d \cdot R_a}$$

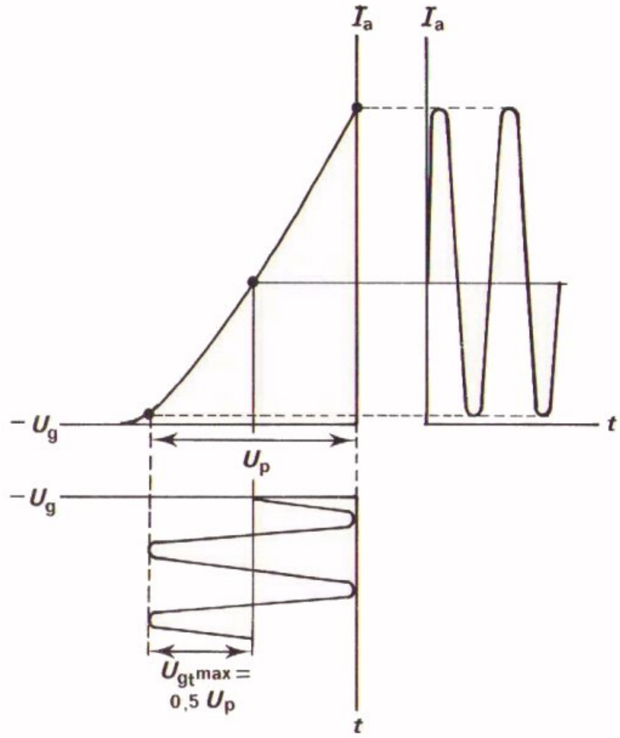
We wijzen er met nadruk op dat steeds met de *dynamische* steilheid moet worden gewerkt. Deze dynamische steilheid kan *niet* direct uit het buizenboek worden gehaald.

DE INSTELLING VAN DE TRIODE

Met behulp van de triode kan men wisselspanning versterken. Tussen rooster en kathode wordt wisselspanning toegevoerd en tussen anode en kathode kan versterkte wisselspanning worden afgenomen. De triode kan alleen dān als versterker werken als de buis ook een gelijkstroominstelling bezit. Dit alles wisten we al. Hieronder is de werking van de triode grafisch weergegeven aan de hand van de I_a - U_g - karakteristiek.



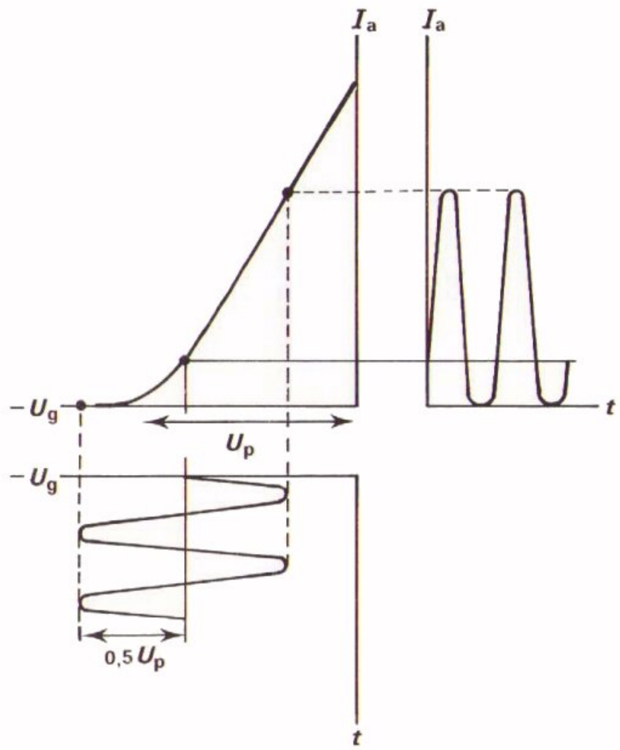
We zeggen dat de triode *ingesteld* is in het punt W, het *werkpunt*. Bij het werkpunt behoort de roosterinstelspanning U_{gW}, ook wel "de negatieve voorspanning" genoemd, en de anode-instelstroom I_W. Door ook wisselspanning aan het rooster toe te voeren, gaat de roosterspanning heen en weer. Dit heeft tot gevolg dat de anodestroom eveneens gaat wisselen.



De toegevoerde roosterwisselspanning mag in normale gevallen niet buiten de roosterruimte komen. Men kiest het instelpunt daarom vaak in het midden van de roosterruimte. De triode kan dan de grootste wisselspanning verwerken zonder buiten de roosterruimte te komen.

Deze bedraagt:

$U_{gt\ max} = 0{,}5\ U_p$.

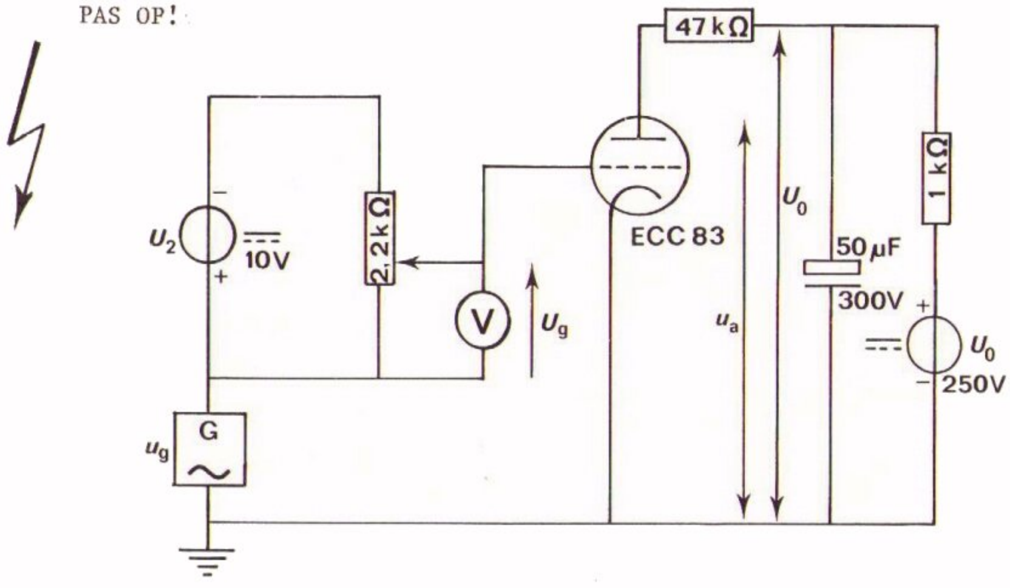


Kiest men het werkpunt links van het midden van de roosterruimte, dan treedt er bij het verwerken van de wisselspanning $U_{gt} = 0{,}5\ U_p$ een vervorming van i_a op. De toppen worden aan de onderzijde afgeplat.

Kiest men het werkpunt rechts van het midden, dan treden er eveneens ongewenste effecten op als $U_{gt} = 0{,}5\ U_p$. Dit komt omdat het rooster dan telkens even positief wordt.

OPDRACHT: HET INSTELLEN VAN DE TRIODE

PAS OP!



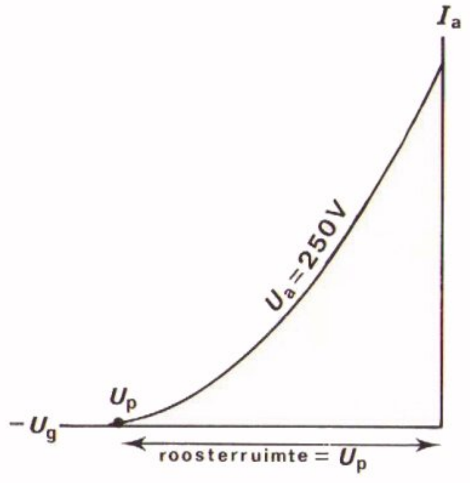
- Wijzig de schakeling op Uw paneel in die volgens bovenstaand schema.

- Maak U_0 = 250 V, U_2 = 10 V en U_g = -1,5 V.

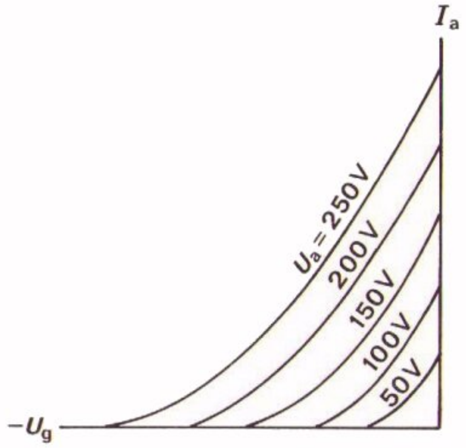
- Voer U_{gt} = 1 V bij f = 1 kHz toe vanuit de 600Ω-uitgang. Maak u_a zichtbaar op het scherm van de scoop; de spanning is niet vervormd.

- Maak U_g = - 4 V en constateer met de scoop of u_a nu wel vervormd wordt.

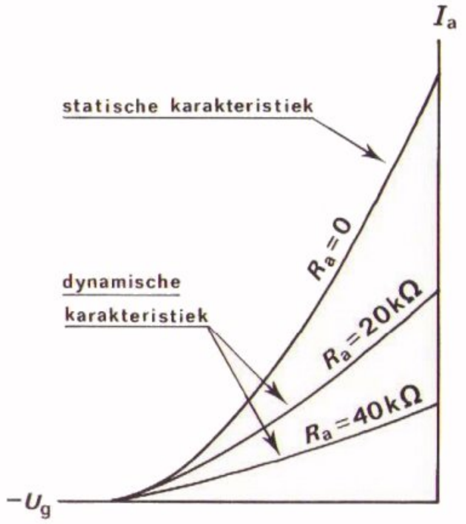
- Maak U_g = 0 V en bekijk weer met de scoop of u_a daardoor vervormd wordt.



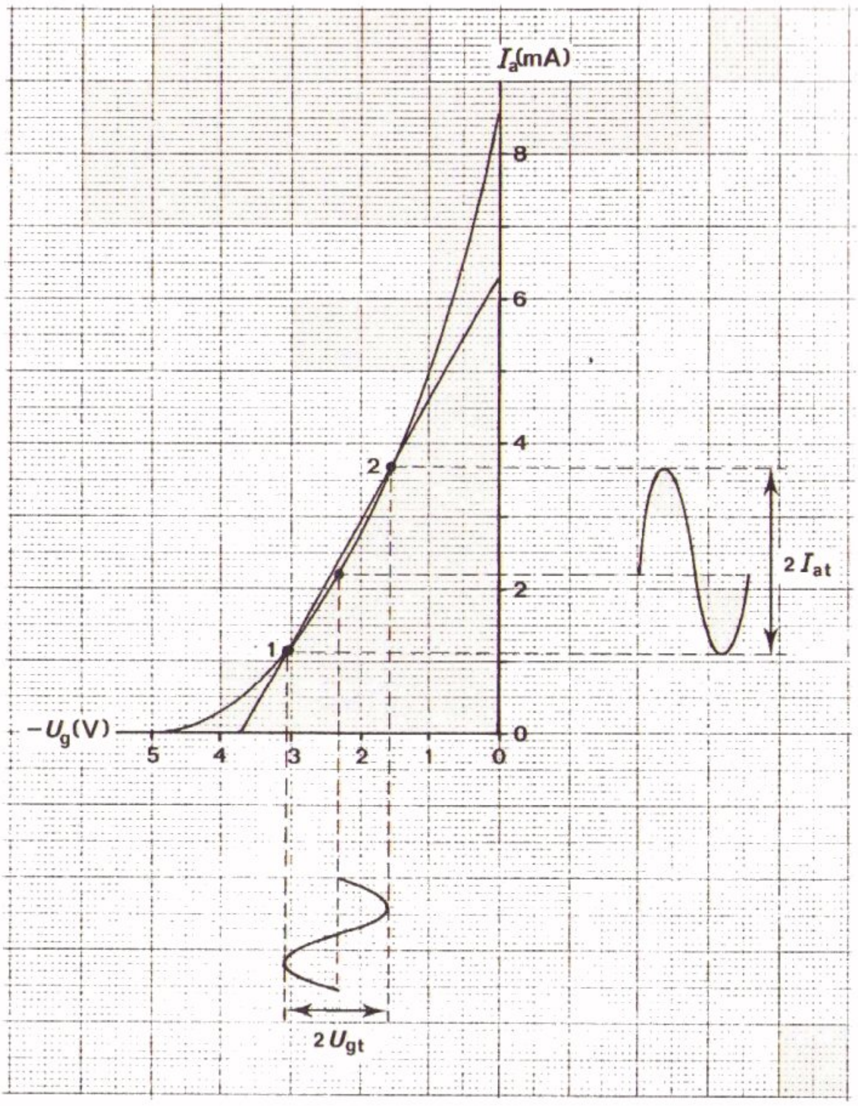
- Dit is de I_a - U_g - karakteristiek van een triode. De grafiek geldt voor een bepaalde anodespanning, in dit geval U_a = 200V. Het punt op de $-U_g$ - as waar I_a = 0 heet het *afknijppunt*. De bijbehorende spanning is de *afknijpspanning* U_p. De afstand van de oorsprong tot U_p noemt men de *roosterruimte*.



- In buizenboeken geeft men karakteristieken voor verschillende waarden U_a. Dit is een zogenaamde *karakteristiekenbundel* van *statische karakteristieken*. Deze wordt door de fabrikant opgegeven en geldt voor "de triode alléén".



- In de praktijk zet men met een triode nagenoeg altijd een anodeweerstand R_a in serie. Men krijgt dan te maken met de *dynamische karakteristiek*. De dynamische karakteristieken lopen minder steil dan de statische karakteristiek.



De steilheid van een karakteristiek bepaalt men op bovenstaande wijze. Wordt de steilheid bepaald voor de statische karakteristiek, dan spreekt men over de statische steilheid, of kortweg de *steilheid*, aangeduid met S. De steilheid wordt opgegeven in mA/V. In de praktijk heeft men bijna altijd te maken met de steilheid van de dynamische karakteristiek, de *dynamische steilheid*, aangeduid met S_d.

$$S_d = \frac{2I_{at}}{2U_{gt}} = \frac{i_a}{u_g}$$

- Voor de anodewisselstroom geldt: $i_a = S_d \cdot u_g$

- Voor de wisselspanningsversterking geldt:

- Voor de wisselspanningsversterking geldt: $A_u = \frac{u_a}{u_g} = S_d \cdot R_a$

NAAM:

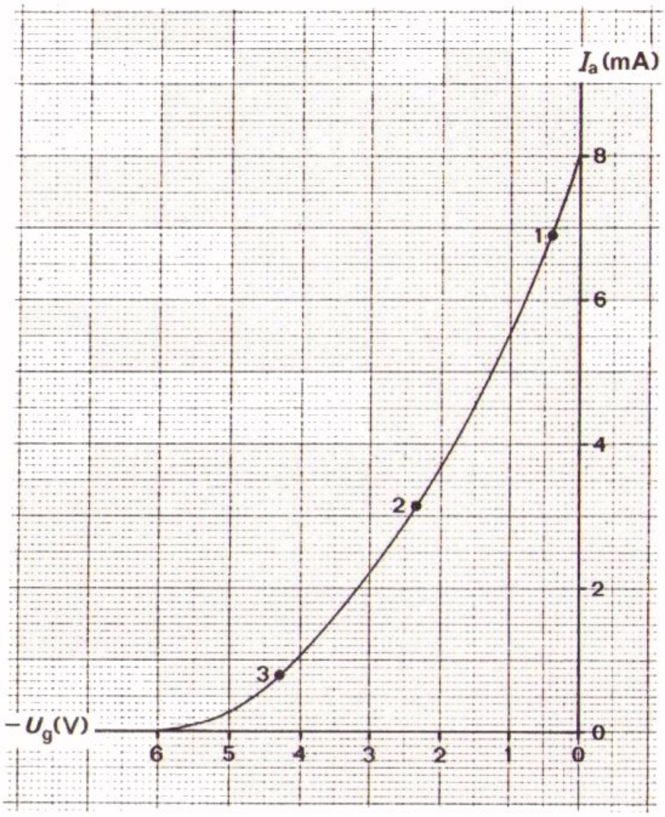
KLAS:

OEFENINGEN

1. Een triode wordt als versterker geschakeld. Het afknijppunt van de buis ligt bij $U_g = -6V$.
Hoe groot mag de amplitude van de toegevoerde wisselspanning maximaal zijn, als de buis in het midden van zijn roosterruimte wordt ingesteld.

U_{gt} =

2.



Hoe groot is in nevenstaande karakteristiek de steilheid van de buis tussen de punten 1 en 2 op de karakteristiek?

S =

Hoe groot is de steilheid tussen de punten 2 en 3 op die karakteristiek?

S =

3. Een buis heeft een dynamische steilheid S_d = 2 mA/V met een anodeweerstand van R_a = 10 kΩ.
Hoe groot is de wisselspanning van de buis?

A_u = ☐

4. De statische steilheid S van een triode S = 8 mA/V. De buis wordt als versterker geschakeld met een anode weerstand R_a = 10 kΩ.
Met deze gegevens kunt U iets zeggen over de mogelijke wisselspanningsversterking van de versterker. Deze is n.l. altijd kleiner dan

☐

B 310

DE I_A - U_A - KARAKTERISTIEK

In de vorige les hebt U kennis gemaakt met de I_a - U_g - karakteristiek. Deze karakteristiek wordt ook wel de *overdrachtskarakteristiek* genoemd. Dit, omdat de karakteristiek gegevens bevat die te maken hebben met de overdracht van de ingang (U_g) naar de uitgang (I_a) van de versterkertrap.

In deze les behandelen we de I_a - U_a - karakteristiek. Deze karakteristiek wordt de *uitgangskarakteristiek* genoemd, omdat hij een verband legt tussen de grootheden aan de uitgang van de triode.

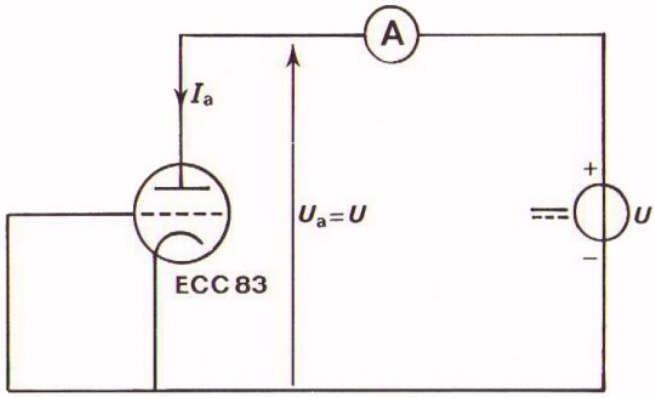
Hiermee wordt de behandeling van de triode besloten. De eigenschappen die nog niet zijn vermeld en toch wel belangrijk zijn, komen in een van de lessen over de volgende component (de *pentode*) ter sprake.

OPDRACHT: METING VAN EEN I_a - U_a - KARAKTERISTIEK

In de vorige les hebben we al gezien dat de anodestroom I_a van een triode afhankelijk is van de roosterspanning U_g en van de anodespanning U_a.
U hebt gezien hoe de stroom afhangt van U_g als U_a constant is.
We gaan nu U_g constant houden en bekijken wat er met I_a gebeurt als U_a varieert.

PAS OP!





- Bouw deze schakeling.

- Sluit op de ECC 83 een gloeispanning aan van 6,3 V.

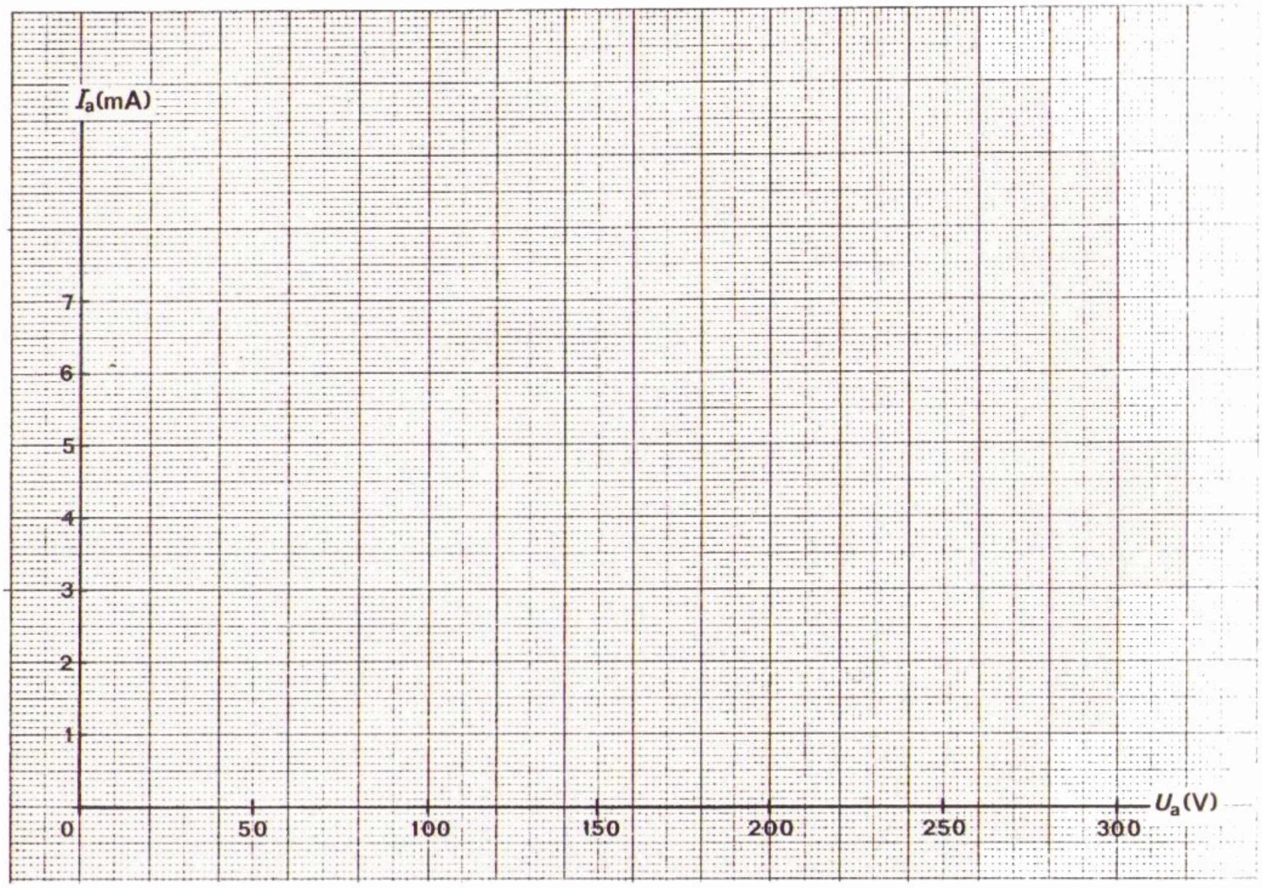
- Het rooster is kortgesloten met de kathode, zodat $U_g = 0$.
  Meet de anodestroom I_a bij de waarden van U_a uit de onderstaande tabel.
  Noteer de gevonden waarden in de tabel.

$U_g = 0$ V

U_a (V)	50	100	150	200	250
I_a (mA)					

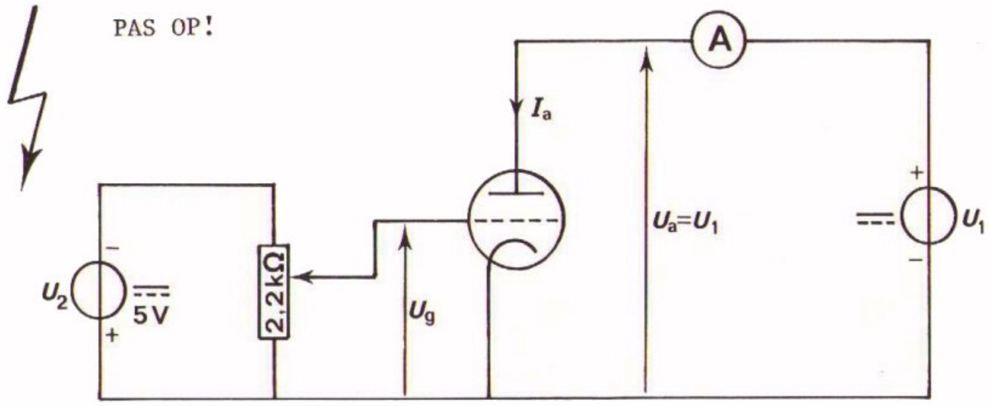
- Zet de gevonden meetwaarden uit in de grafiek op volgend blad.

- Verbind de gevonden punten door een vloeiende lijn.


I_a(mA)
7
6
5
4
3
2
1
0
50
100
150
200
250
300
U_a(V)

OPDRACHT: METING VAN ANDERE I_a - U_a - KARAKTERISTIEKEN

PAS OP!



- Sluit nu een tweede gelijkspanningsbron op het rooster aan. Geef het rooster met behulp van deze bron een roosterspanning U_g = - 1V.

- Voer nu weer metingen van I_a uit bij die waarden van U_a die in volgende tabel staan.

U_g = - 1V	U_a (V)	50	100	150	200	250	300
	I_a (mA)						

- Herhaal de metingen met U_g = - 2V bij de U_a waarden van volgende tabel.

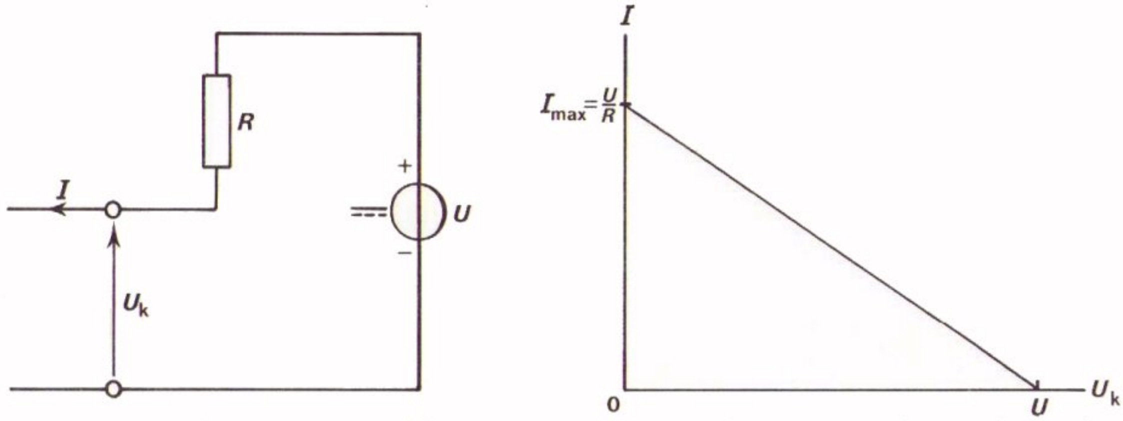
U_g = - 2V	U_a (V)	100	150	200	250	300
	I_a (mA)					

- Herhaal de metingen met U_g = -3V bij de U_a waarden uit volgende tabel.

U_g = - 3V	U_a (V)	150	200	250	300
	I_a (mA)				

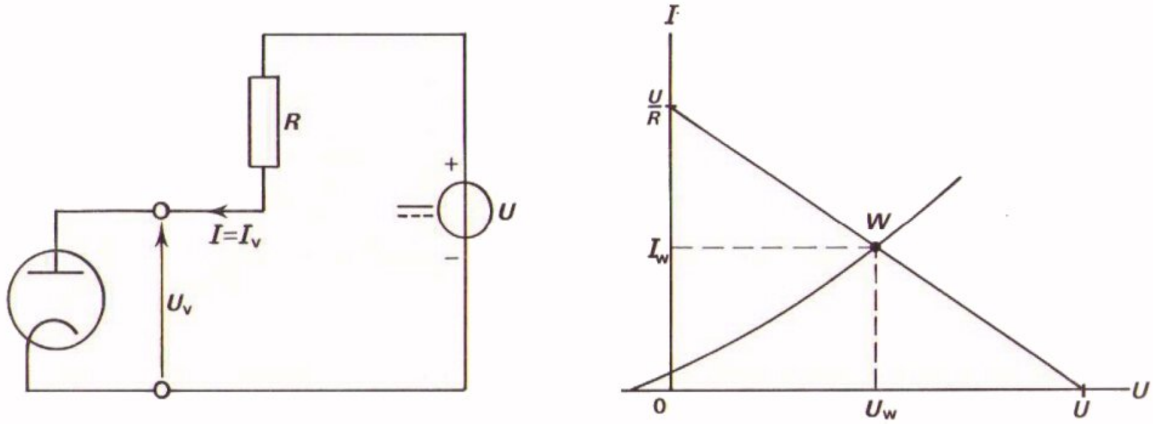
- Teken nu de I_a - U_a - karakteristieken voor U_g = -1V, -2V, en -3V in de grafiek op het vorige blad erbij. Zet bij elke karakteristiek de juiste waarden van U_g.

Bij de vorige opdrachten hebt U een zogenaamde I_a - U_a - *karakteristieken-bundel* getekend van een triode. Ook bij de buisdiode hebben we te maken gehad met een I_a - U_a - karakteristiek. We gaan nog eens opfrissen wat we daar geleerd hebben over de belastinglijn. Indertijd hebben we de belastinglijn bepaald van de serieschakeling van een spanningsbron en een weerstand.



De belastinglijn is de lijn die ontstaat als de klemspanning U_k in een grafiek wordt uitgezet bij verschillende belastingtoestanden, d.w.z. bij variërende stroomafname. In onbelaste toestand geldt $I = 0$. De klemspanning is dan gelijk aan de spanning van de bron, dus $U_k = U$. De belasting is maximaal als de klemmen zijn kortgesloten. U_k is dan 0 en de maximale stroom $I_{max} = \frac{U}{R}$

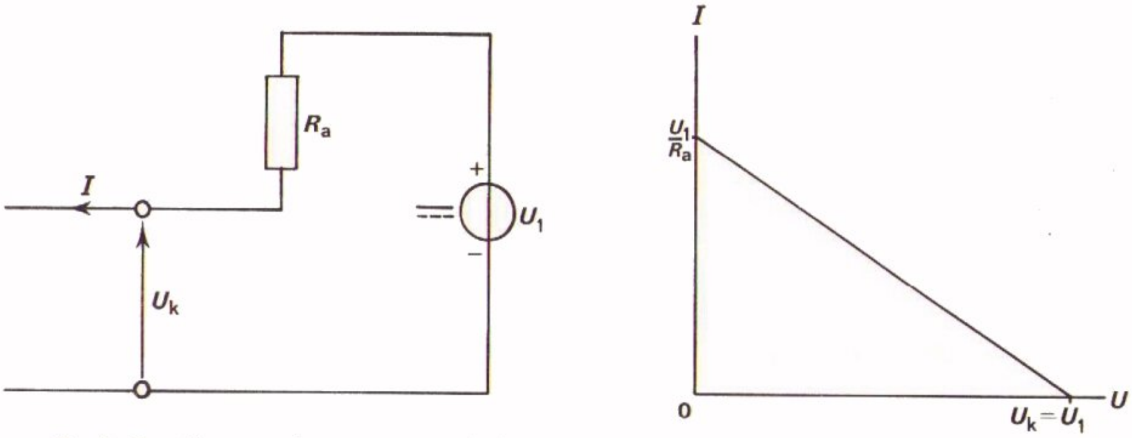
De rechte lijn die getrokken kan worden door de punten $U_k = U$ en $I_{max} = \frac{U}{R}$ is de belastinglijn. Op deze lijn liggen de punten van de toestanden tussen minimale (geen) belasting en maximale belasting.



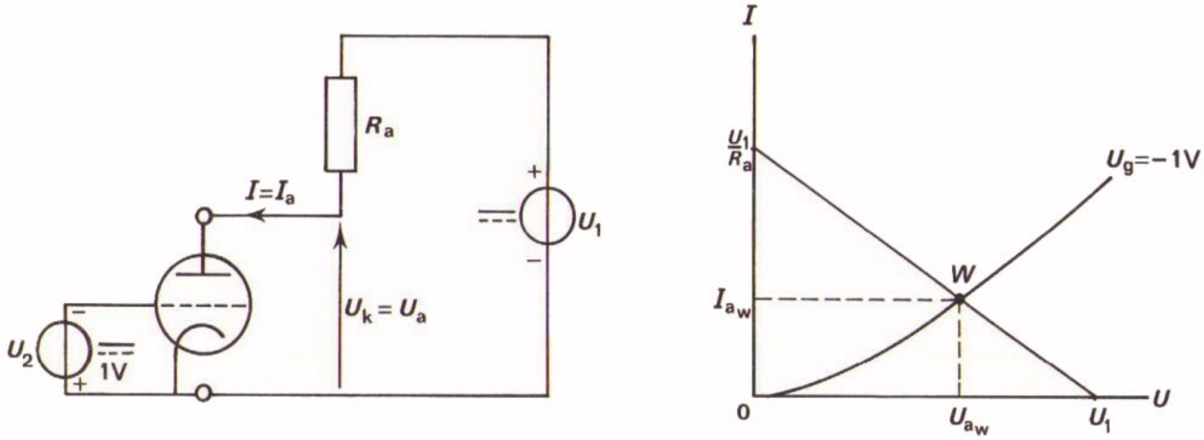
De belastinglijn tekenden we samen met de diodekarakteristiek in één figuur. Het snijpunt van beide lijnen gaf ons het instelpunt of werkpunt van de diode. De afgenomen stroom in het instelpunt I_W is de stroom die over de diode U_W doet ontstaan. Bij een andere R ontstaat een andere belastinglijn en dus ook een andere instelling.

Bij een triode maakt men op dezelfde wijze gebruik van de belastinglijn. Het enige belangrijke verschil is dat we nu niet met één karakteristiek te maken hebben, maar met een bundel I_a - U_a - karakteristieken.

Het uitgangspunt is weer hetzelfde als op het vorige blad. We tekenen de belastinglijn voor een spanningsbron in serie met een weerstand R_a.



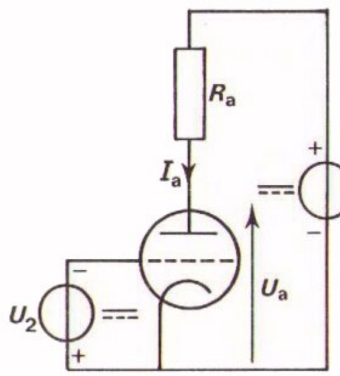
De belasting wordt nu gevormd door een triode. Gemakshalve nemen we voorlopig aan dat deze triode een vaste roosterspanning heeft van −1V. We hebben dan slechts met één uitgangskarakteristiek te maken en niet met de gehele bundel. Deze uitgangskarakteristiek voor $-U_g = 1$ V combineren we nu met de belastinglijn.

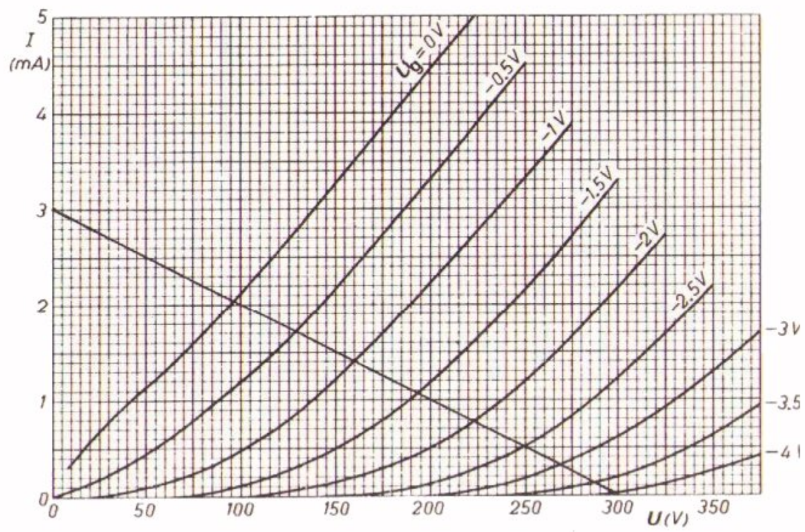


Het snijpunt W geeft weer het werkpunt W, dus de stroom door de triode I_{aW} en de spanning over de triode U_{aW}.

Nogmaals wijzen we erop dat W het werkpunt is voor een bepaalde R_a en in dit geval bij U_g = − 1 V.

In de praktijk hebben we niet te maken met één I_a - U_a karakteristiek, maar met een bundel van deze karakteristieken. Hieronder is zo'n bundel weergegeven.
In deze bundel is een belastinglijn getekend voor het geval dat U_1 = 300 V en R_a = 100kΩ. Ga dit na.





Het instelpunt ligt nog niet vast. Geven we nu ook nog de roosterspanning b.v. U_g = -2,5 V, dan is de instelling bekend.
Uit bovenstaande grafiek lezen we in dit geval af:

I_a = 0,5 mA en U_a = 250 V

Ga dit zorgvuldig na.

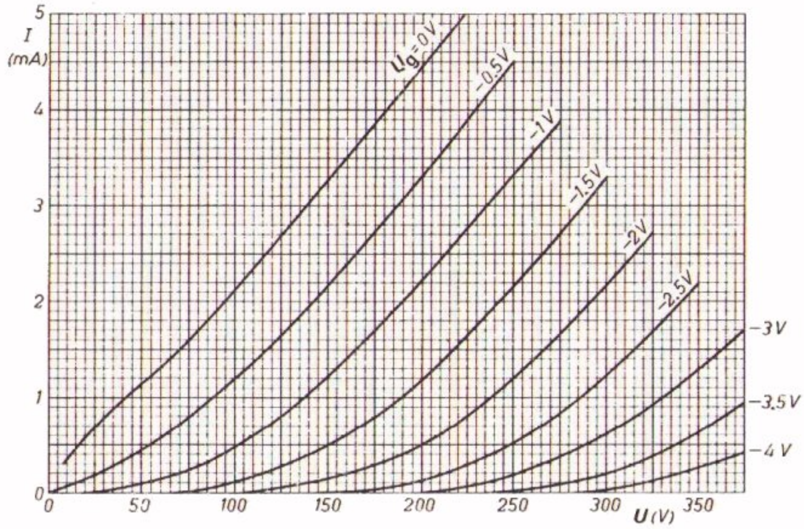
VRAAG Waar ligt in bovenstaande grafiek het instelpunt als U_g = -1 V?

I_a = [ ]

U_a = [ ]

OEFENING

- Teken in onderstaande bundel uitgangskarakteristieken de belastinglijn voor een voedingsspanning U_1 = 200 V en een anodeweerstand R_a = 40 kΩ.



- Hoe groot is in dit geval de spanning over en de stroom door de triode als de roosterspanning -1 V is?

U_a = ☐

I_a = ☐

- Teken de belastinglijn voor U_1 = 200 V en R_a = 20 kΩ.

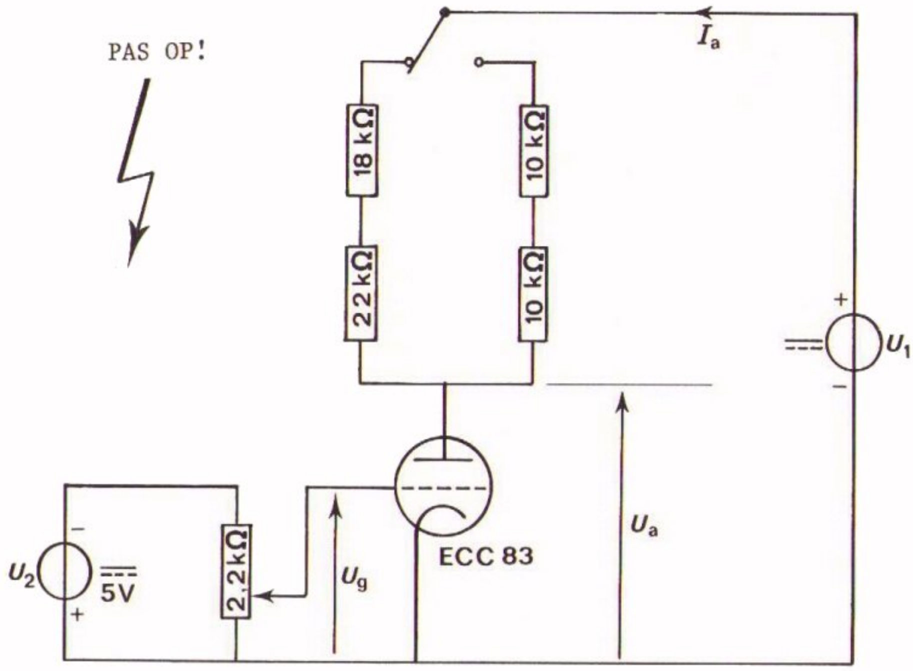
- Hoe groot is in dit laatste geval de spanning over en de stroom door de triode bij U_g = 0 V?

U_a = ☐

I_a = ☐

OPDRACHT: METING VAN DE INSTELLING BIJ ENKELE WAARDEN VAN R_a

We hebben de instelling van de triode tot nu toe op papier, dus nogal theoretisch bekeken. In deze opdracht gaan we ervaren dat het ook in de praktijk klopt.



- Bouw deze schakeling.

- Neem als anodeweerstand R_a = 40 kΩ (= 18 + 22 kΩ) op.

- Stel U_1 in op 200 V.

- Stel U_g in op − 1 V.

- Meet met behulp van een universeelmeter I_a en U_a.

I_a = ____________

U_a = ____________

- Vergelijk deze waarden met die op blad B310.8. De daar gegeven bundel uitgangskarakteristieken is namelijk die van de ECC 83. Kloppen de gemeten en de berekende waarden?

- Neem nu R_a = 20 kΩ (=10 + 10 kΩ) in de schakeling op.

- Stel U_g in op 0 V.

- Meet I_a en U_a met de universeelmeter.

I_a = ☐

U_a = ☐

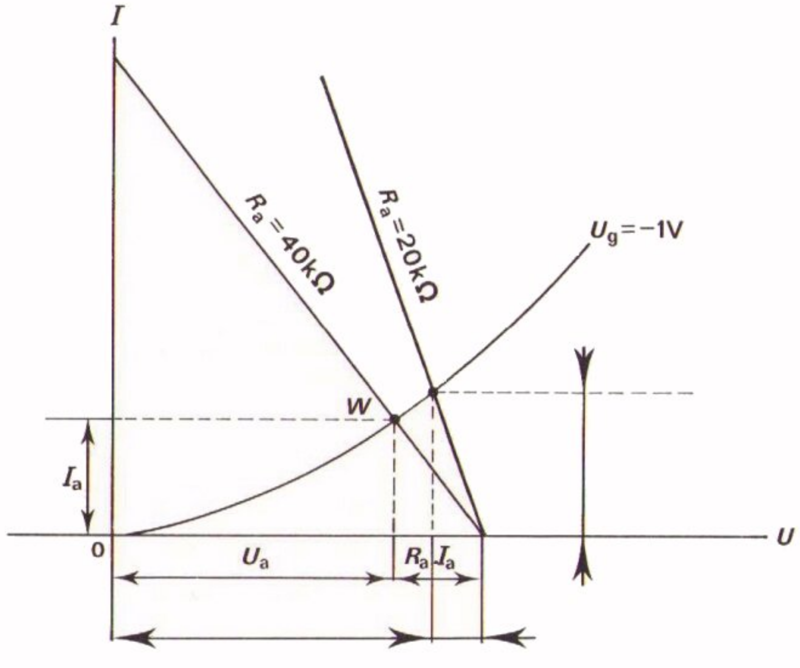
- Ook dit geval hebben we op blad B310.8 berekend. Vergelijk berekende met de hierboven gemeten waarden. Klopt het?

CONCLUSIE

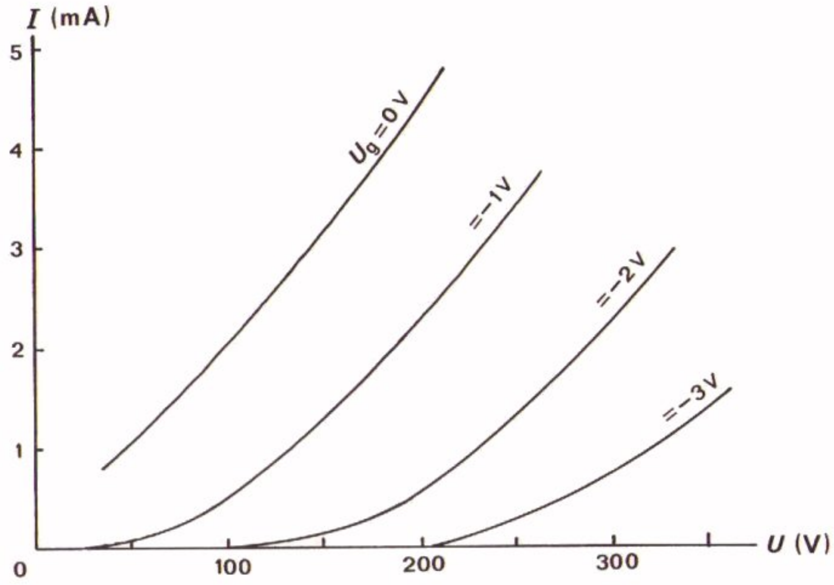
Uit de berekening en ook uit de meting volgt:

als R_a kleiner wordt,

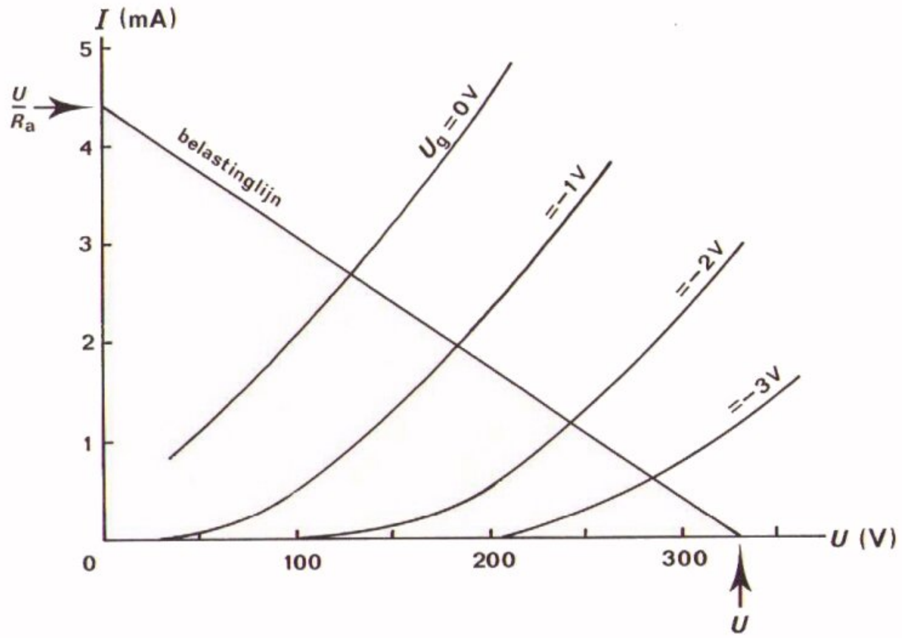
dan wordt I_a groter
U_a groter
R_aI_a kleiner



SAMENVATTING



Dit is een bundel uitgangs- of I_a - U_a - karakteristieken van een triode, zoals die door de fabrikant wordt opgegeven. Voor verschillende waarden van de roosterspanning U_g wordt een verband gegeven tussen I_a en U_a.



Door in deze bundel een belastinglijn te tekenen kunnen we de instelling van de triode bepalen. De belastinglijn is een rechte lijn die loopt van het punt op de horizontale as dat overeenkomt met de voedingsspanning U tot het punt $I_a = \frac{U}{R_a}$ op de verticale as.

NAAM:

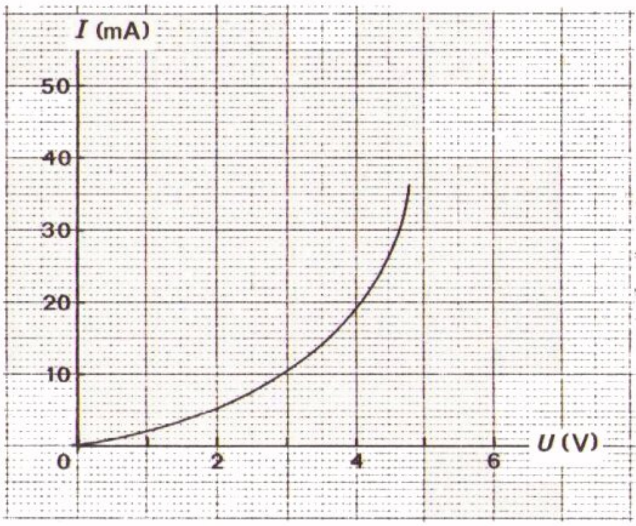
KLAS:

OEFENINGEN

1. Hoe wordt de $I_a - U_g$ - karakteristiek ook wel genoemd?

Hoe wordt de I_a-U_a - karakteristiek ook wel genoemd?

2.

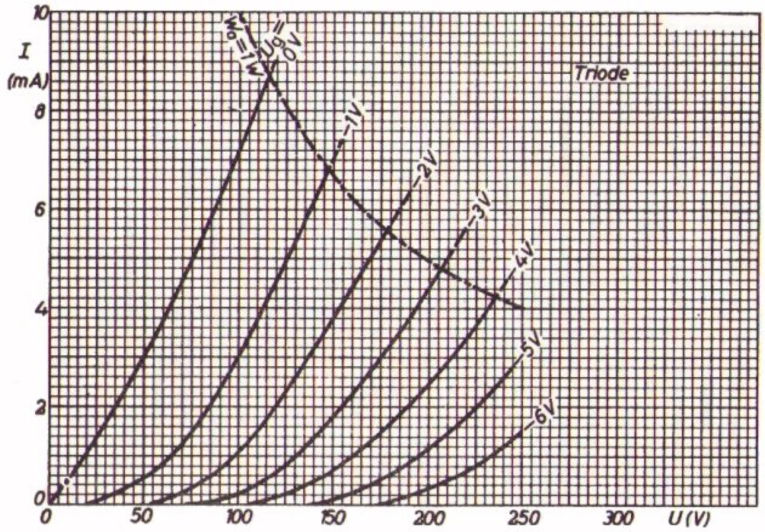


Een component met nevenstaande karakteristiek is in serie met een weerstand aangesloten op een spanningsbron. De weerstand heeft een waarde van 200Ω.
De spanningsbron geeft een spanning van 5 V.

Bepaal de stroom door deze serieschakeling.

I =

3. Hier is een bundel uitgangskarakteristieken gegeven van een triode.



De triode is in serie met een R_a = 75kΩ aangesloten op een voedingsspanning van 300 V.

- Teken de belastinglijn.

- Bepaal de anodespanning en de anodestroom bij U_g = -1,5 V.

U_a =

I_a =

- Teken de belastinglijn ook voor R_a = 50 kΩ bij dezelfde voedingsspanning en dezelfde U_g!

- Bepaal weer de instelling.

U_a =

B 311

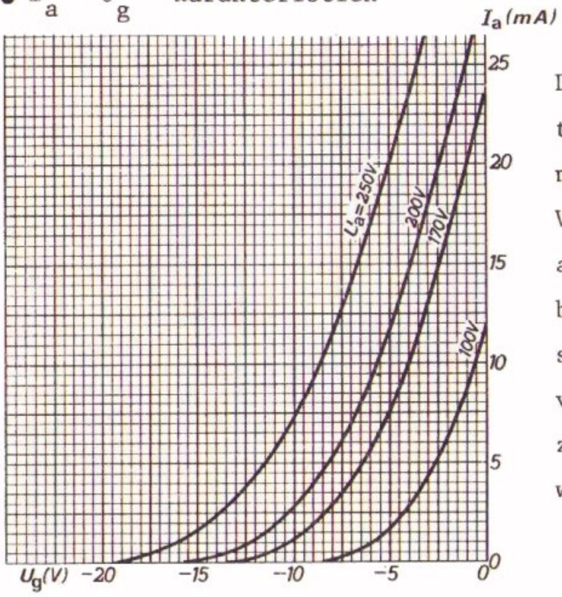
VERGELIJKING VAN DE OVERDRACHTS- EN DE UITGANGSKARAKTERISTIEKEN

INLEIDING

In les B309 is de $I_a - U_g$ - karakteristiek of overdrachtskarakteristiek uitvoerig behandeld. In les B310 bekeken we de $I_a - U_a$ - karakteristiek of uitgangskarakteristiek. Dit zijn twee karakteristieken van de triode die onderling samenhangen. De samenhang komt in deze les aan de orde.

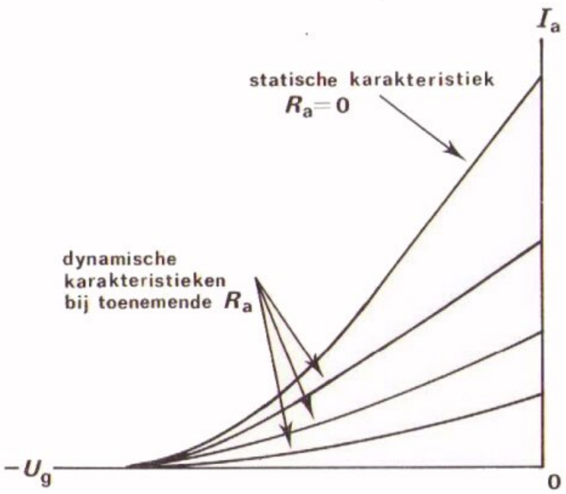
Kort en bondig zetten we hier nog eens bij elkaar wat we van de beide karakteristieken geleerd hebben.

- I_a - U_g - karakteristiek



Deze karakteristiek legt een verband tussen de anodestroom I_a en de negatieve roosterspanning U_g.
Voor elke waarde van U_a geldt een afzonderlijke karakteristiek. In een buizenboek wordt een bundel van deze statische karakteristieken weergegeven. De bundel geldt voor de triode zoals die door de fabrikant gemaakt wordt.

Gaan wij deze triode gebruiken dan zetten we er een bepaalde anodeweerstand R_a mee in serie. We hebben dan niet meer te maken met de statische karakteristiek, maar met de dynamische.

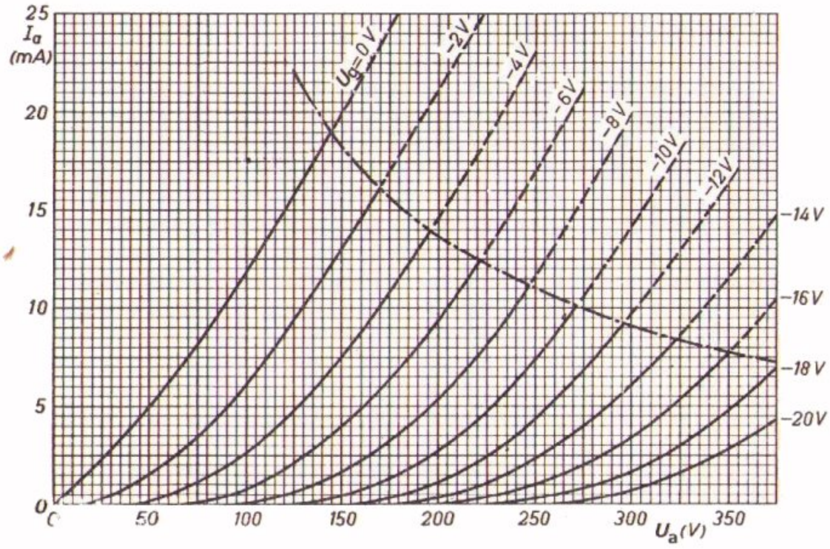


Naarmate R_a toeneemt, gaat de karakteristiek "minder schuin" lopen;
De steilheid S neemt af.

In de praktijk hebben we niet met de steilheid van de statische-, maar met die van de dynamische karakteristiek te maken:
de dynamische steilheid S_d.

Het nut van de dynamische I_a - U_g - karakteristiek is voor gelijkstroom dat met bij een bepaalde spanning U_g kan nagaan hoe groot I_a is, en daaruit met $U_a = U - R_a \cdot I_a$ kan berekenen hoe groot U_a is.

• I_a - U_a - karakteristiek



Deze karakteristiek legt een verband tussen de anodestroom I_a en de anodespanning U_a. Voor iedere waarde van $-U_g$ geldt een andere karakteristiek. In een buizenboek wordt dan ook een bundel uitgangskarakteristieken opgegeven. In een bepaalde schakeling hebben we b.v. te maken met een gegeven voedingsspanning en een gegeven R_a. Voor dit bepaalde geval kunnen we in de grafiek met I_a - U_a - karakteristieken een belastinglijn tekenen. Voor een gegeven $-U_g$ kunnen we dan I_a en U_a van de triode bepalen.

OEFENING

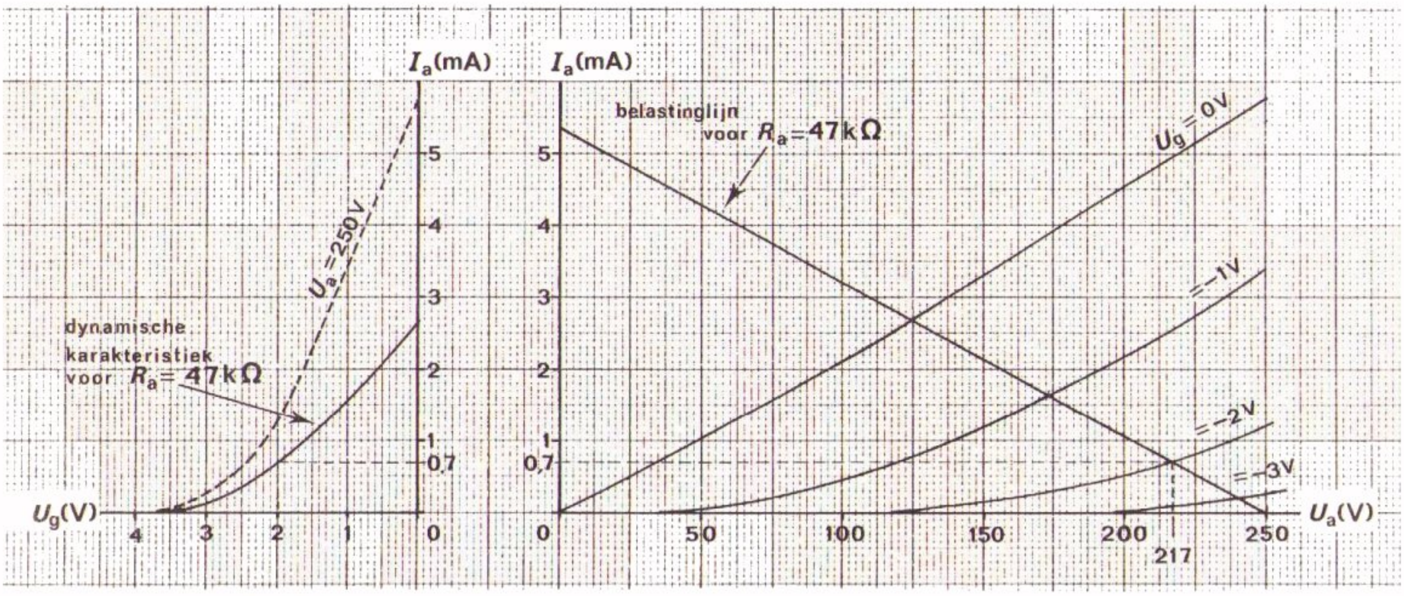
Bepaal in bovenstaande grafiek de I_a en U_a van de triode bij een voedingsspanning van 300 V, een anodeweerstand van 15kΩ en een roosterspanning van - 10 V.

I_a = [mA]

en U_a = [V]

COMBINATIE VAN BEIDE TRIODE-KARAKTERISTIEKEN

Hier ziet U de $I_a - U_g$ - en de $I_a - U_a$ - karakteristiek van dezelfde triode naast elkaar.



In de linker grafiek is de dynamische karakteristiek getekend voor R_a = 47 kΩ en U = 250 V. Bij dezelfde gegevens is in de rechter grafiek de belastinglijn weergegeven.

In feite zijn de dynamische karakteristiek en de belastinglijn twee verschillende manieren om *hetzelfde* weer te geven.

Op beide manieren kan men namelijk vast stellen welke waarden van I_a, U_g en U_a bij elkaar passen, als een bepaalde R_a en een bepaalde voedingsspanning gegeven zijn. Kort gezegd: men kan met beide de instelling van de triode bepalen.

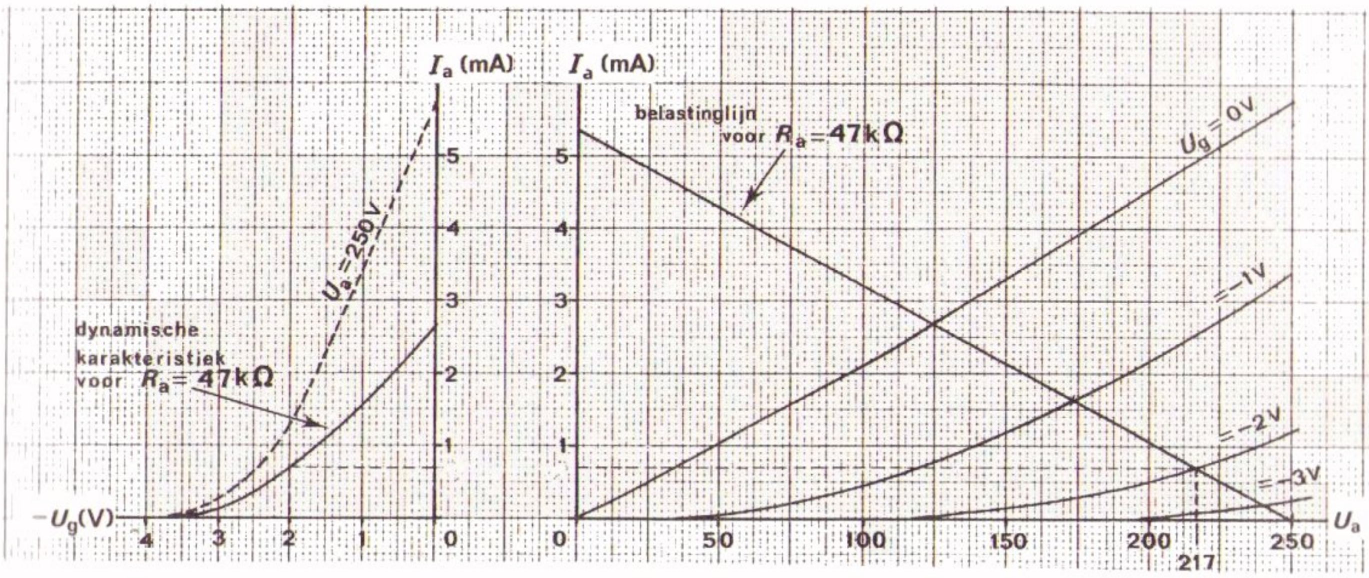
- Uit de dynamische karakteristiek blijkt dat I_a = 0,7 mA bij U_g = -2 V.
  Verder is $U_a = U - R_a . I_a$
  $= 250 - 47.10^3.0,7.10^{-3} = 250 - 33 = 217$ V

- Met behulp van de belastinglijn vinden we bij U_g = -2 V eveneens I_a = 0,7 mA. Bovendien lezen we direct dat U_a = 217 V.

Dat de belastinglijn en de dynamische karakteristiek inderdaad "hetzelfde" weergeven kunt U in bovenstaande karakteristieken gemakkelijk controleren.

Ga na of de anodestroom I_a steeds in beide grafieken hetzelfde is bij de punten U_g = 0 V, U_g = -1 V, U_g = -2 V en U_g = -3 V.

OEFENING



Bepaal alléén aan de hand van de I_a - U_g-karakteristiek de instelling van de triode bij U_g = -1 V.

I_a = ☐ U_a = ☐

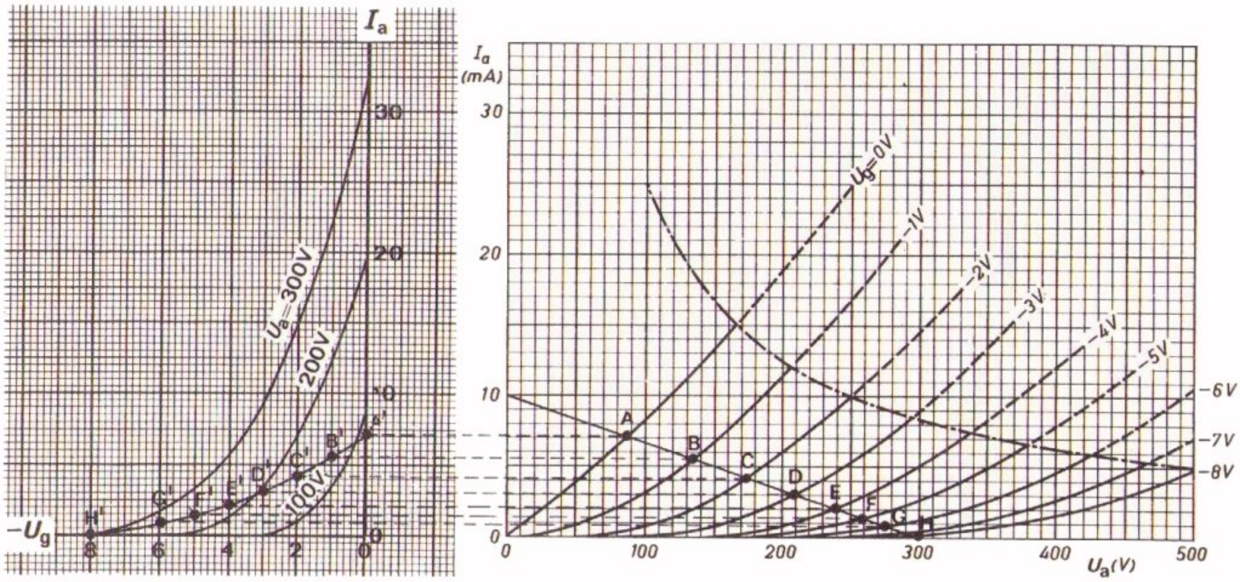
Bepaal de instelling nu ook aan de hand van de I_a - U_a-karakteristiek.

I_a = ☐ U_a = ☐

Probeer nu aan de hand van beide karakteristieken ook eens de instelling te bepalen bij U_g = -1,5 V.

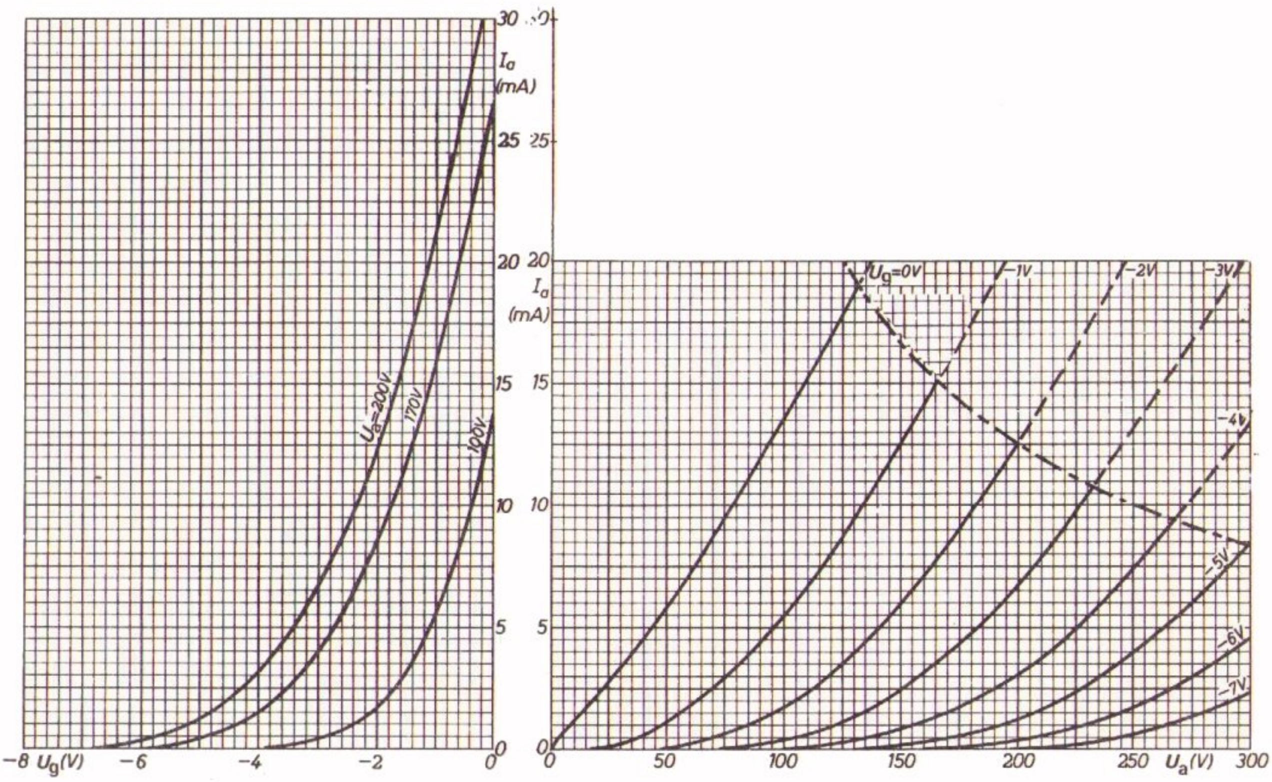
I_a = ☐ U_a = ☐

De dynamische $I_a - U_g$ - karakteristiek is in het voorafgaande verschillende malen ter sprake gekomen. We hebben bijvoorbeeld gezien dat hij minder steil verloopt dan de statische en dat hij minder steil gaat lopen naarmate R_a groter gekozen wordt.
We hebben alleen geleerd hoe we door meting aan de dynamische karakteristiek komen.
Nu we de $I_a - U_g$ - en de $I_a - U_a$ - karakteristiek naast elkaar getekend hebben, is het niet moeilijk om het verloop van de dynamische karakteristiek te construeren.



In de bundel uitgangskarakteristieken is een belastinglijn getekend voor een voedingsspanning U_1 = 300 V en een anodeweerstand R_a = 30 kΩ.
De punten A, B, C .... van deze belastinglijn geven een reeks mogelijke instellingen van de triode bij verschillende waarden van U_g. Deze instellingen kunnen we in de $I_a - U_g$ - grafiek ook aanwijzen.
Uit de rechter grafiek zijn de punten A, B, C .... "overgehaald" vaar de linker grafiek. Daar ontstaan de punten A', B', C', ...
Verbindt men deze punten door een vloeiende lijn, dan ontstaat de dynamische karakteristiek voor R_a = 30 kΩ.
Ga dit punt voor punt precies na.

OEFENING



- Teken in de uitgangskarakteristiekenbundel de belastinglijn voor een voedingsspanning U_1 = 250 V en een R_a = 10 kΩ.

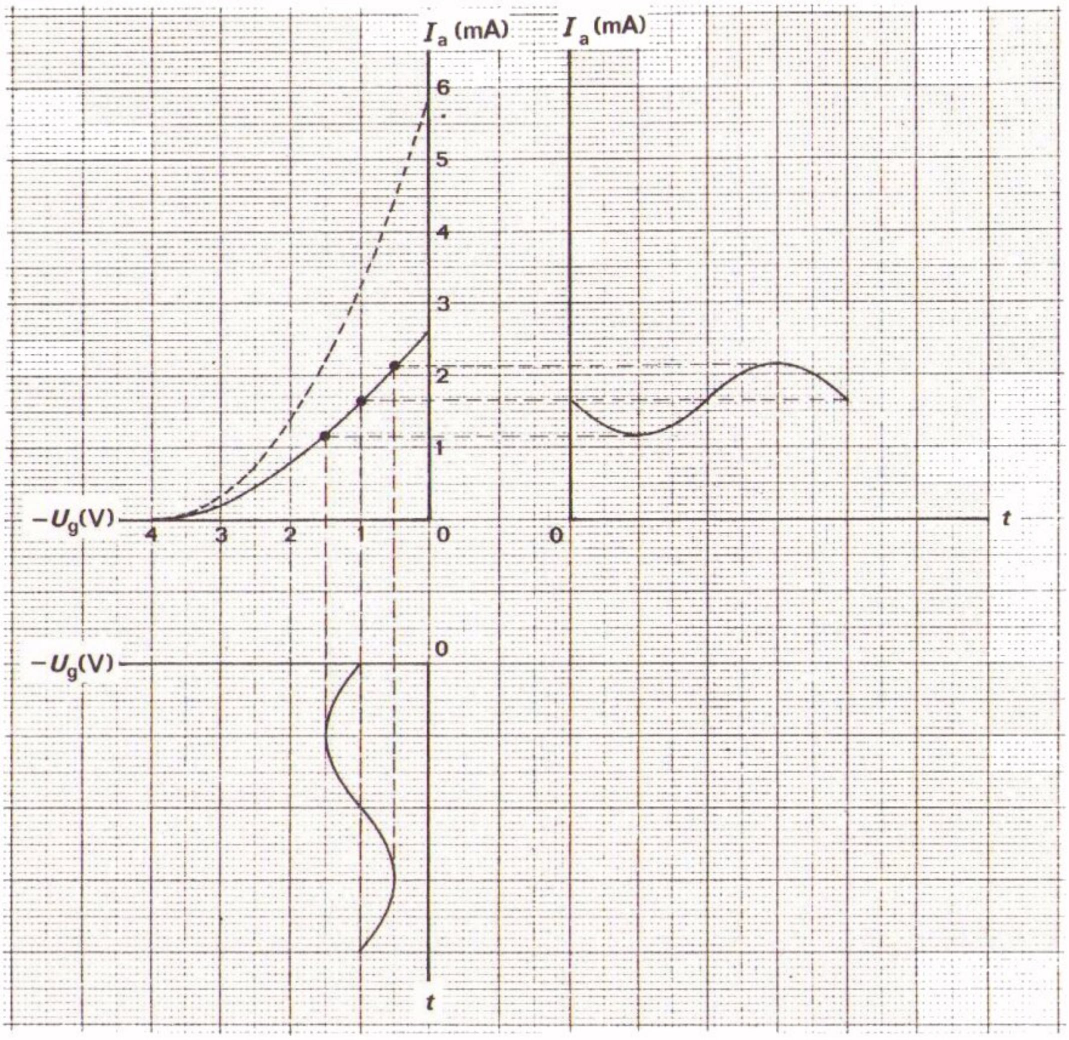
- Construeer in de I_a - U_g - karakteristiek de dynamische karakteristiek.

- Bepaal de dynamische steilheid in het gebied tussen U_g = −4 V en −1 V.

S_d =

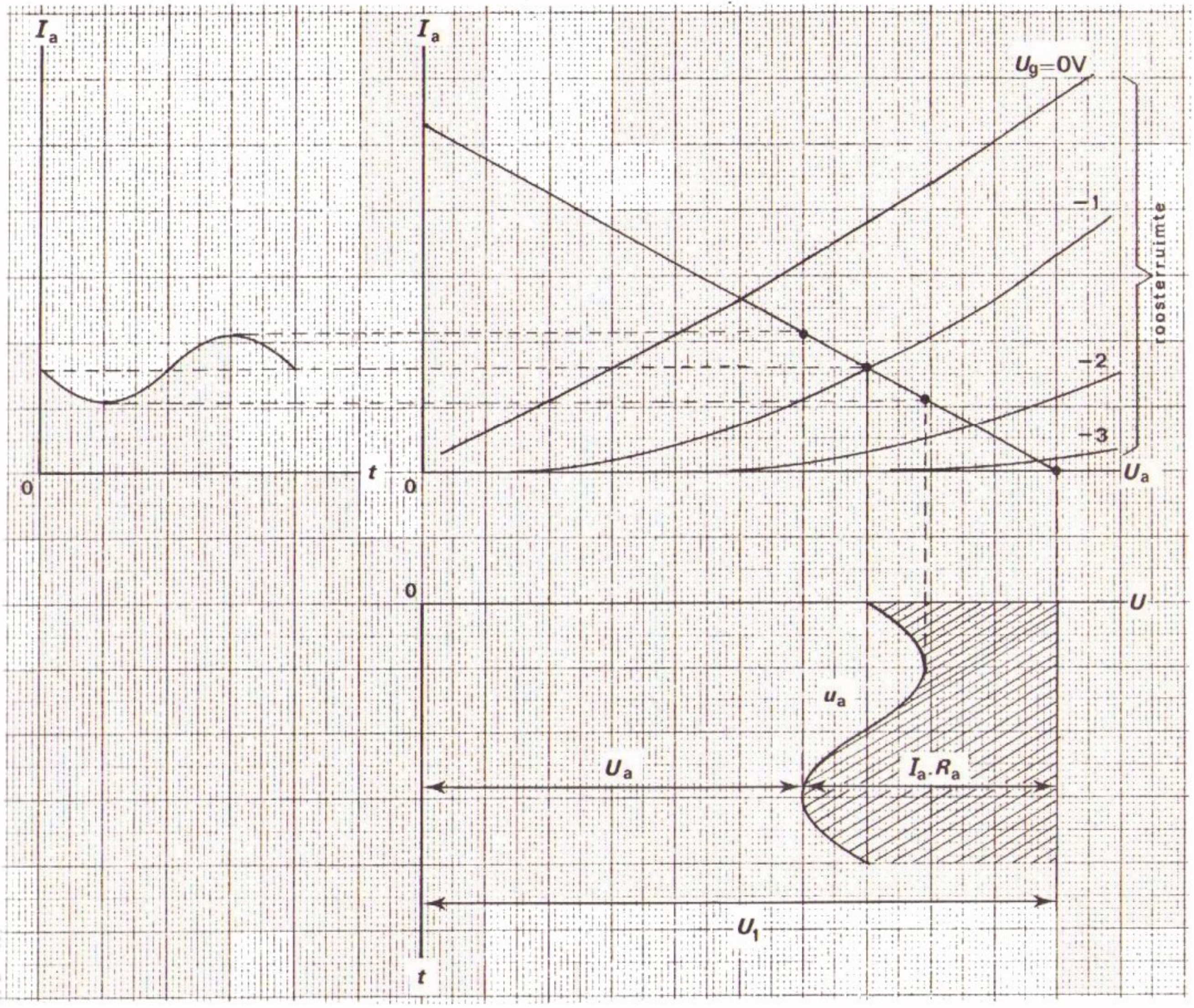
i_a EN u_a UIT DE KARAKTERISTIEKEN

Tot nu toe spraken we in deze les over de instelling van de triode, dus over gelijkspanningen en gelijkstroom. Deze zijn nodig, maar het is ons eigenlijk begonnen om de wisselspanningen en de wisselstroom. Het gedrag voor wisselstroomgrootheden kunnen we met grafieken duidelijk inzien.

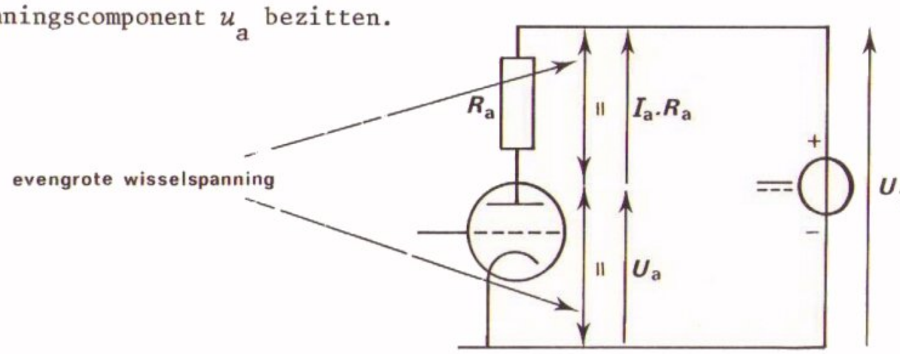


Hier wordt een roosterwisselspanning toegevoerd.
Via de dynamische karakteristiek is de anodewisselstroom geconstrueerd.

In volgende tekening is te zien hoe uit de anodewisselstroom via de belastinglijn de anodewisselspanning volgt.
Ga deze constructie zorgvuldig na.

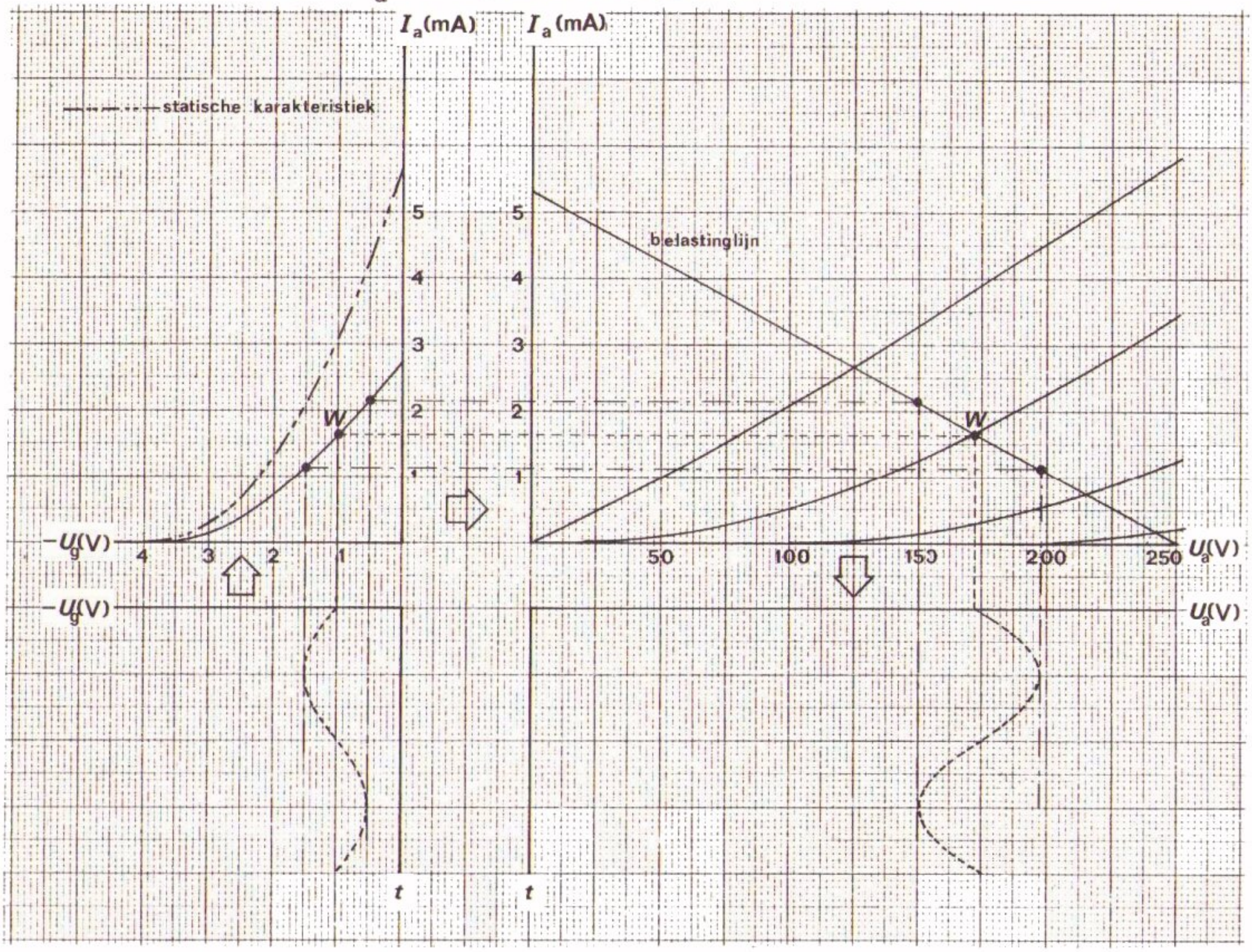


Uit de onderste grafiek is duidelijk te zien, dat de voedingsspanning U_1 zich verdeelt over de triode (U_a) en over de anodeweerstand (I_aR_a). Duidelijk is ook dat de spanningen U_a en I_aR_a beide dezelfde wisselspanningscomponent u_a bezitten.



OEFENING

In deze tekening zijn de voorafgaande grafieken verzameld. De tussenstap van de $I_a - t$ - grafiek is weggelaten.



Bepaal aan de hand van deze figuur:

de instelstroom I_{aW} =

de anode-gelijkspanning U_{aW} =

de anode-wisselspanning u_a =

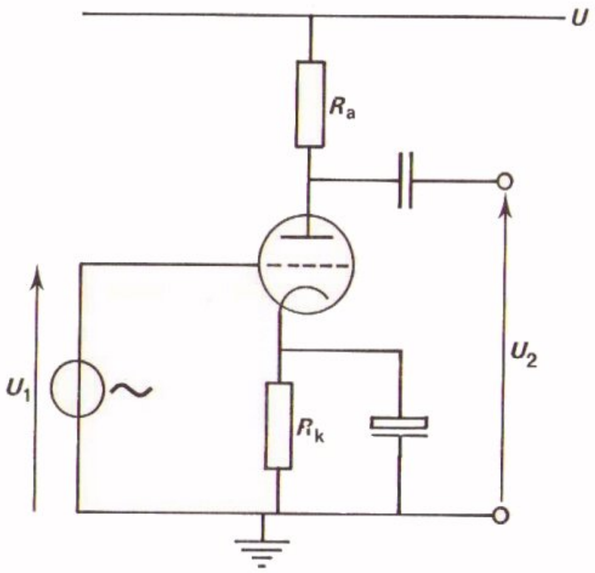
de wisselspanningsversterking A_u

OPMERKING

Bij deze oefening komt duidelijk het *nut* van de karakteristieken en de belastinglijn naar voren. Zij geven een goed inzicht omtrent

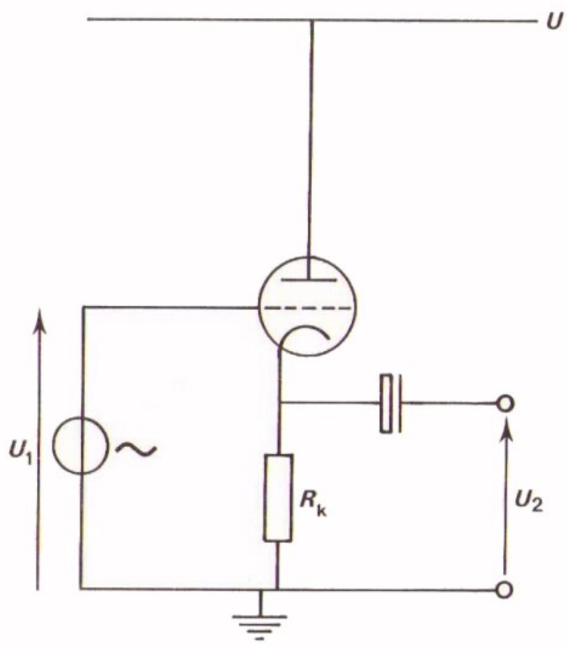
- de mogelijke gelijkstroominstellingen
- de verwerking van een wisselspanning u_g

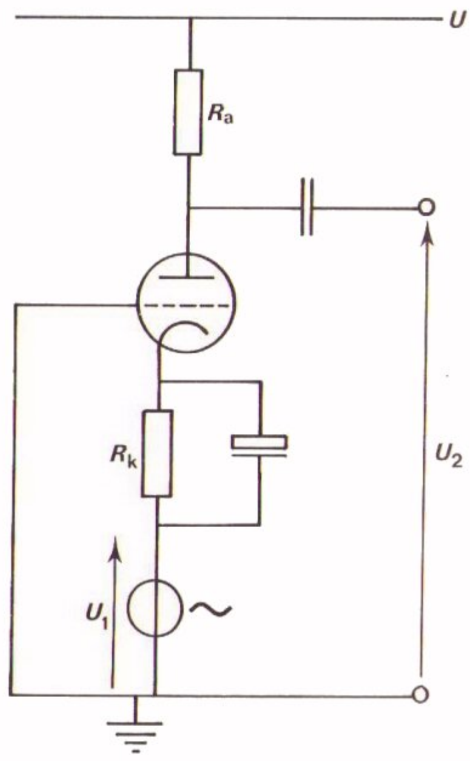
We hebben de triode steeds gebruikt in een zogenaamde *kathodebasis-schakeling*, ook wel *geaarde kathode - schakeling* genoemd. Hij dankt zijn naam aan het feit dat de kathode voor wisselspanning aan aarde ligt.



Er zijn nog twee andere schakelingen met een triode mogelijk:

- De *anodebasis-schakeling* of *geaarde anodeschakeling*. Deze wordt vaak *kathodevolger* genoemd.
- De *roosterbasis-schakeling* of *geaarde roosterschakeling*.
  Deze schakeling zult U niet vaak tegenkomen. Volledigheidshalve geven we er hieronder voorbeelden van.





IETS OVER CODERING VAN TRIODES

Over de codering van triodes willen we niet zo heel veel zeggen.
U moet de onderstaande gegevens zeker niet van buiten leren.
Als U er mee werken moet, raakt U er snel genoeg in thuis.

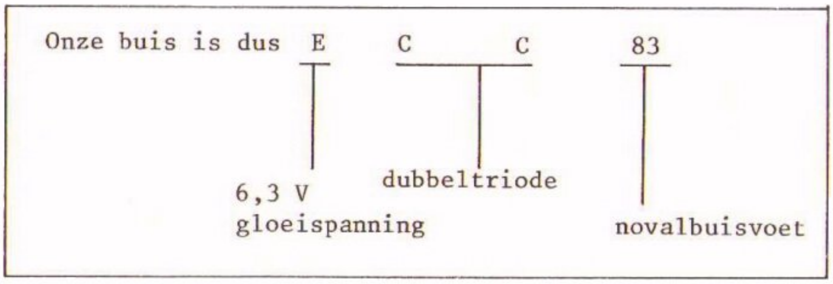
In deze en voorgaande lessen hebt U gewerkt met de ECC 83. Aan de hand van de code voor deze dubbel - triode zullen we laten zien wat voor systeem wordt gebruikt.

- De eerste letter geeft informatie over de gloeidraad-voeding.
  De letters die U het meest zult tegenkomen zijn:
  E voor 6,3 V gloeidraad spanning;
  P voor 300 mA gloeistroom;
  D voor 1,4 V gloeispanning.

- De tweede en derde letter geven aan wat voor systeem in de buis zit.
  C betekent dan triode.
  CC betekent dus 2 trioden in één buis.
  Soms is de triode gecombineerd met andere systemen, zoals bijvoorbeeld PCL, PCF, of ECH; de L, F of H duiden dan op andere systemen.
  Hierop komen we nog terug.

- Het getal zegt iets over de buisvoet die gebruikt is om de elektroden van buiten af te kunnen voeden. De 80-serie bevat allemaal buizen met een NOVAL buisvoet, evenals de 100-serie.
  De 90-serie bevat buizen met een 7pensvoet, de zogenaamde MINIATUUR voet, evenals de 900-serie. De 200-serie bevat buizen met een DECAL buisvoet. De decal buisvoet bevat 10 pennen.

  Als U een onbekende code tegenkomt, moet U in het buizenboek nagaan wat de betekenis is van die code.



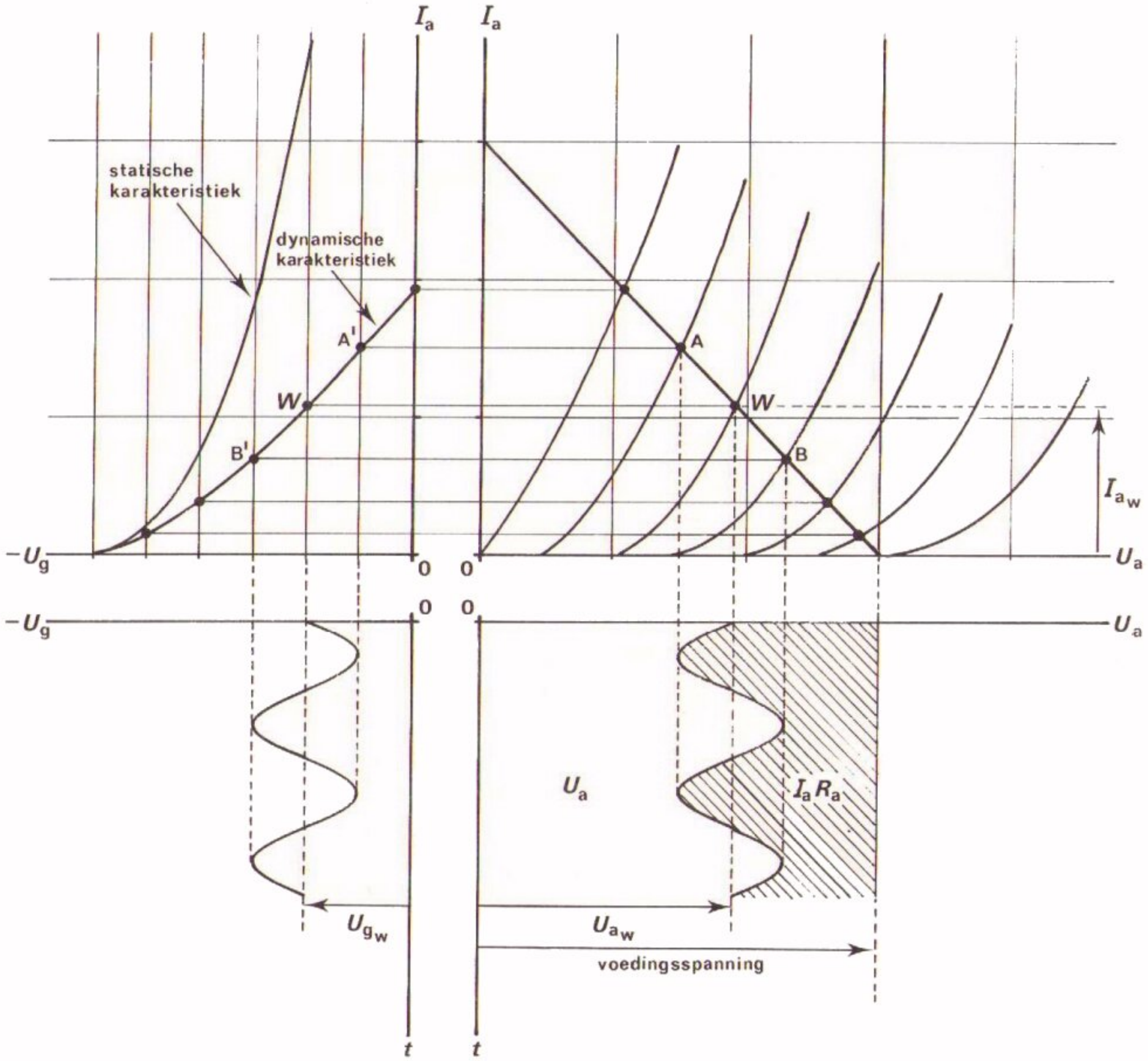
De dynamische $I_a - U_g$ - karakteristiek bevat dezelfde gegevens als de belastinglijn in de i_a-U_a - karakteristiek.

De $I_a - U_g$ - karakteristiek en de $I_a - U_a$ karakteristiek worden vaak naast elkaar getekend. In dit geval zijn alle gegevens van de triode als versterker direct af te lezen.

Een wisselspanning aan het rooster toegevoerd kan punt voor punt via beide karakteristieken worden "overgehaald", waardoor de wisselspanning op de anode wordt gevonden.

De dynamische karakteristiek wordt geconstrueerd door de snijpunten van de belastinglijn met de bundel $I_a - U_a$ - karakteristieken "over te halen" naar de I_a-U_g - karakteristiek.

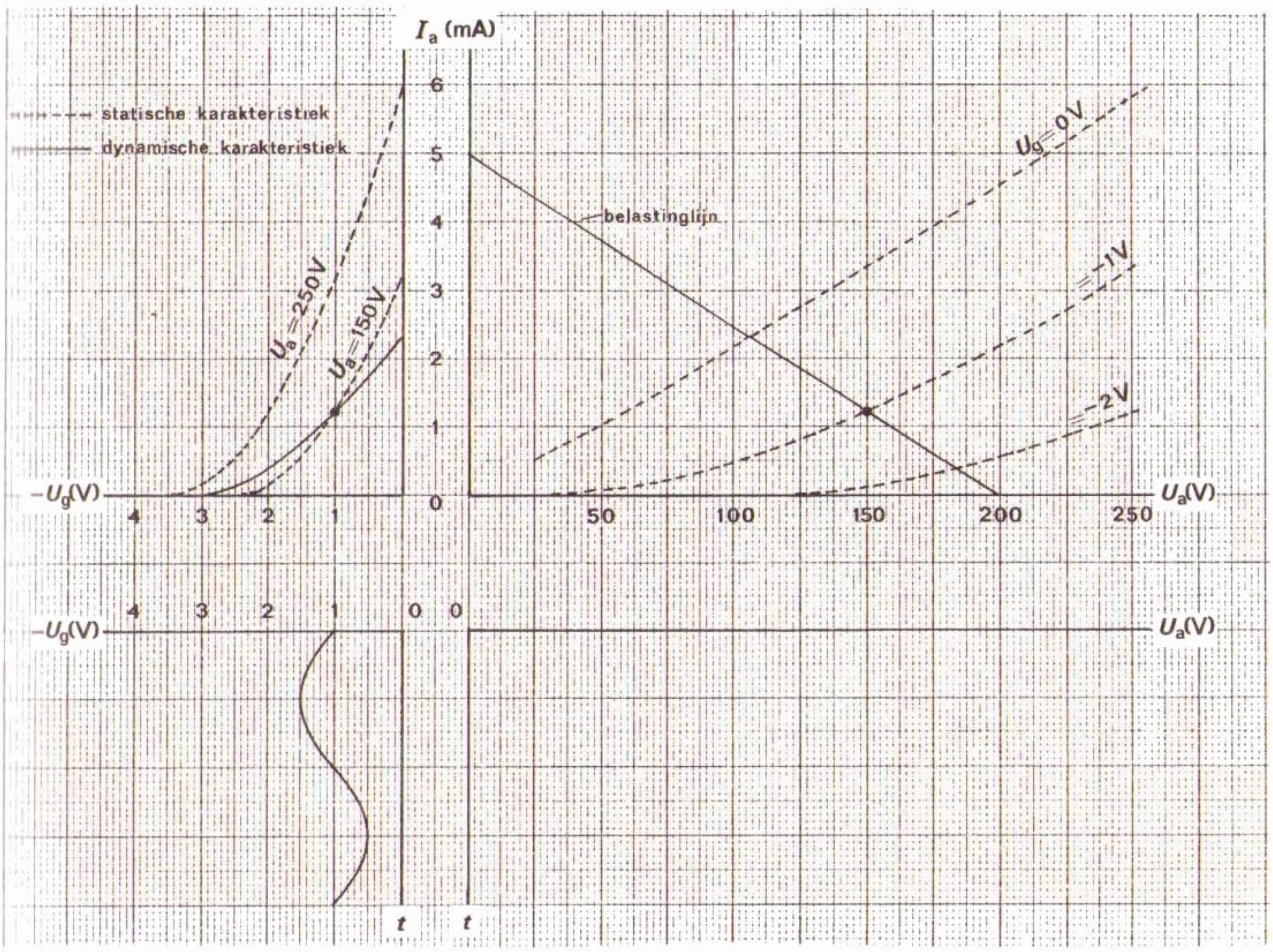
In onderstaande figuur zijn alle constructies nog eens samengevat.



NAAM:

KLAS:

OEFENING



Bepaal uit bovenstaande karakteristieken

U_{gW} =

U_{aW} =

I_{aW} =

U_{gt} =

U_{at} =

R_a =

S bij deze instelling (zonder R_a) S =

S bij deze instelling en R_a S_d =

Teken het verloop van U_a.

B 312

DE PENTODE

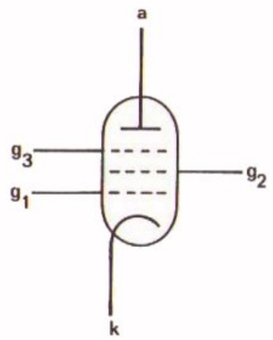
INLEIDING

We gaan nu over tot het bespreken van een nieuwe vacuumbuis, de *pentode*. De pentode is een buis met 5 elektroden die behalve kathode, rooster en anode nóg twee roosters heeft.
Deze buis lijkt in een aantal opzichten op een triode, maar er zijn ook verschillen.
In deze en een aantal volgende lessen zullen we dat zien.

CONSTRUCTIE EN SYMBOOL

Een pentode is in hoofdzaak net zo geconstrueerd als een triode. Tussen het reeds bij de triode aanwezige rooster en de anode zijn nog twee extra roosters aangebracht. Ook deze roosters bestaan uit spiraalvormige metalen draden.

Dit is het schemasymbool voor een pentode. De drie roosters zijn aangeduid met g_1, g_2 en g_3.

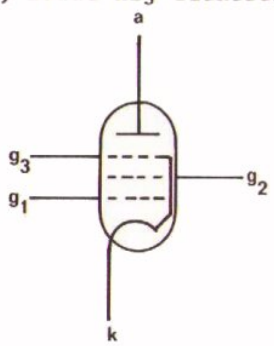


De namen van deze roosters zijn:

stuurrooster , g_1
schermrooster, g_2
keerrooster , g_3

Evenals bij de vacuumdiode en de triode is er een gloeidraad aanwezig die de kathode op een hoge temperatuur brengt, zodat hij elektronen gaat uitzenden.

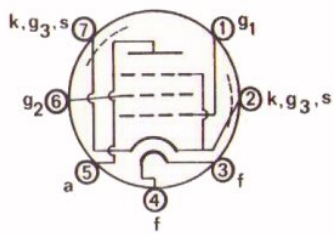
In sommige gevallen is het keerrooster inwendig met de kathode doorverbonden.



DE WERKING VAN DE PENTODE

Op de werking van de pentode zullen we niet diep ingaan. De pentode is juist zoals de triode een vacuumbuis, maar de loop van de elektronen op hun weg van kathode naar anode is door de aanwezigheid van drie roosters met verschillende spanningen nogal ingewikkeld.
U krijgt als gebruiker van pentodes trouwens nooit te maken met wat er zich binnen de buis afspeelt. In verband met de uitwendige aansluitingen moet U natuurlijk wel een paar dingen weten.

Allereerst is het van belang te weten aan welke pennen de verschillende elektroden bevestigd zijn. De fabrikant geeft daartoe een onderaanzicht van de buis.
Hiernaast ziet U een voorbeeld dat voor zichzelf spreekt.



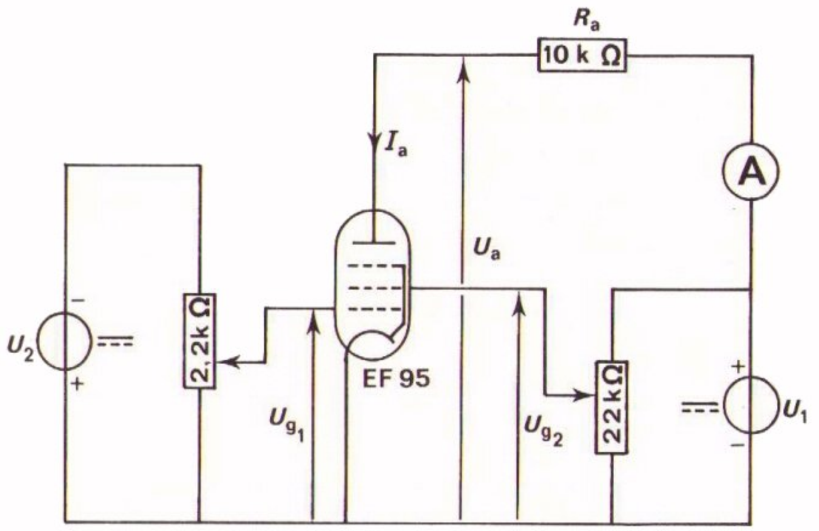
Het stuurrooster g_1 heeft dezelfde functie als het rooster bij de triode. Hierop wordt de ingangswisselspanning aangesloten. Bij de meeste toepassingen heeft dit rooster ook nog een negatieve gelijkspanning, evenals bij de triode.

Op de anode komt een hoge positieve gelijkspanning, evenals bij de triode.

Het keerrooster is geen moeilijkheid, omdat hieraan géén spanning wordt toegevoerd. Het ligt veelal aan aarde of, al of niet inwendig, aan de kathode.

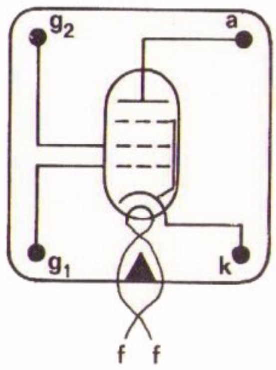
Het meest bijzondere is dat voor een goede werking van de pentode op het schermrooster g_2 ook een positieve gelijkspanning U_{g2} moet worden aangesloten. Hiermee bereikt men dat de anodestroom I_a vooral bepaald wordt door U_{g2} en veel minder afhangt van U_a. We komen daar nog op terug. Vaak kiest men U_{g2} lager dan de voedingsspanning voor de anode.

OPDRACHT: METING VAN DE ANODESTROOM





Pentode



montage van EF 95 op
vierpool

- Bouw deze schakeling.

- Stel de voedingsspanning U_1 in op 200 V.

- Stel U_{g1} in op -2 V.

- Stel U_{g2} in op 100 V.

- Meet I_a en U_a bij kortgesloten anodeweerstand. (R_a = 0).

I_a =

U_a =

- Herhaal de meting bij R_a = 10 kΩ.

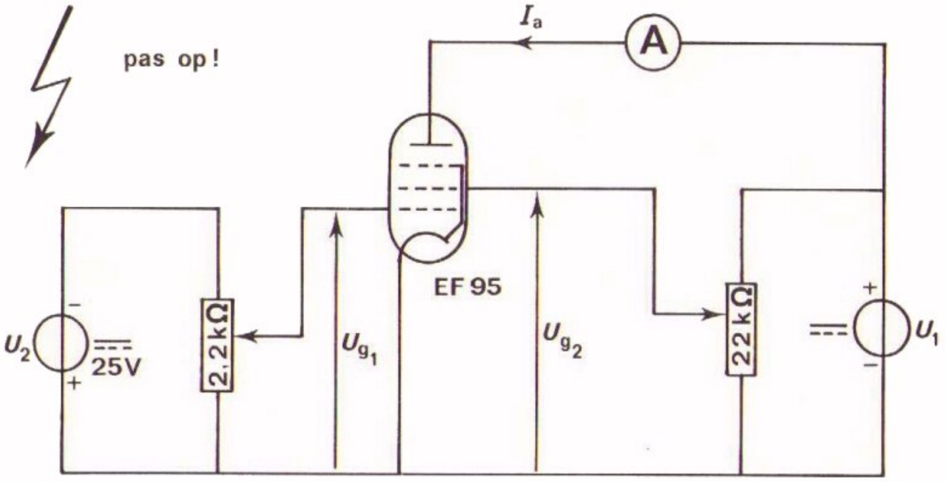
I_a =

U_a =

U ziet dat I_a praktisch constant blijft, hoewel U_a ca. 50 V kleiner wordt.

OPDRACHT: METING VAN ANODESTROOMVERANDERINGEN

We hebben in de vorige opdracht gezien dat de anodestroom bij een pentode niet erg afhankelijk is van de anodespanning.
We gaan nu bekijken wat er met de anodestroom gebeurt als we verschillende negatieve spanningen aan het rooster toevoeren. We sluiten een constante spanning aan op het schermrooster, zoals in bijna alle praktische toepassingen ook het geval is.



- Bouw deze schakeling.

- Stel U_{g1} in op -1 V. U_2 op 25 V.
- Schakel U_1 in en stel deze spanning in op 200 V.

- Stel met R_{g2} de U_{g2} in op 150 V.

- Meet de anodestroom I_a I_a = [mA]

- Schakel U_1 uit.

- Stel U_{g1} in op -2 V.

- Schakel U_1 in en stel U_{g2} weer in op 150 V.

- Meet de anodestroom I_a. I_a = [mA]

- Schakel U_1 uit.

- Stel U_{g1} in op -3 V.

- Schakel U_1 in en stel U_{g2} weer in op 150 V.

- Meet I_a. I_a = [mA]

- Meet vervolgens bij welke spanning $-U_{g1} = U_p$ de anodestroom wordt afgeknepen. Zorg ervoor dat U_{g2} daarbij 150 V blijft. U_p = [ ]

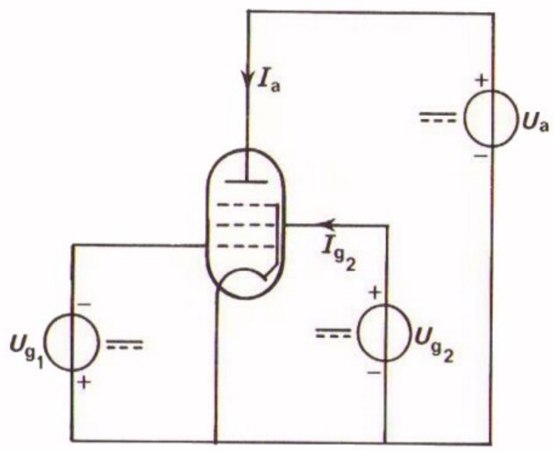
INSTELLING VAN DE PENTODE

Wat hebben we in de twee voorafgaande opdrachten gezien?

- Bij de eerste opdracht variëren we R_a; U_{g1} en U_{g2} hielden we constant. Door variatie van R_a verandert $_a$, maar I_a blijkt daardoor nauwelijks beïnvloed te worden.
- Bij de tweede opdracht hielden we de spanning U_{g2} nog steeds constant, zoals dit gebruikelijk is. We variëren de stuurroosterspanning U_{g1}. Evenals bij de triode blijkt I_a sterk af te hangen van de stuurroosterspanning.

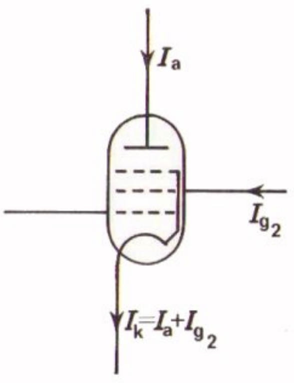
Bij een triode hadden we met twee instelspanningen te maken: de roosterspanning en de anodespanning.

Dezelfde instelspanningen sluiten we bij de pentode aan. We sluiten echter óók nog een positieve spanning aan op het schermrooster g_2.



Bij de pentode hebben we dus met drie instelspanningen te maken.

Bij de triode hebben we met één instelstroom te maken, de I_a. Bij een pentode komt een deel van de elektronen die de kathode verlaten op het schermrooster terecht. Dit betekent dat er ook een stroom I_{g2} door het schermrooster loopt.



De anodestroom I_a en de schermroosterstroom I_{g2} lopen samen door de kathode; dus $I_k = I_a + I_{g2}$

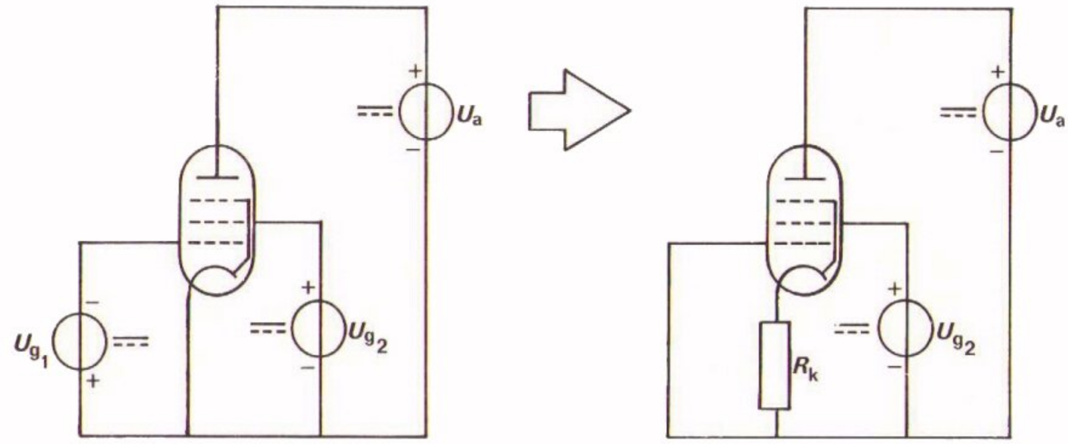
Bij de pentode zijn er dus:

drie instelspanningen: U_a, U_{g2} en U_{g1}

en twee instelstromen: I_a en I_{g2}

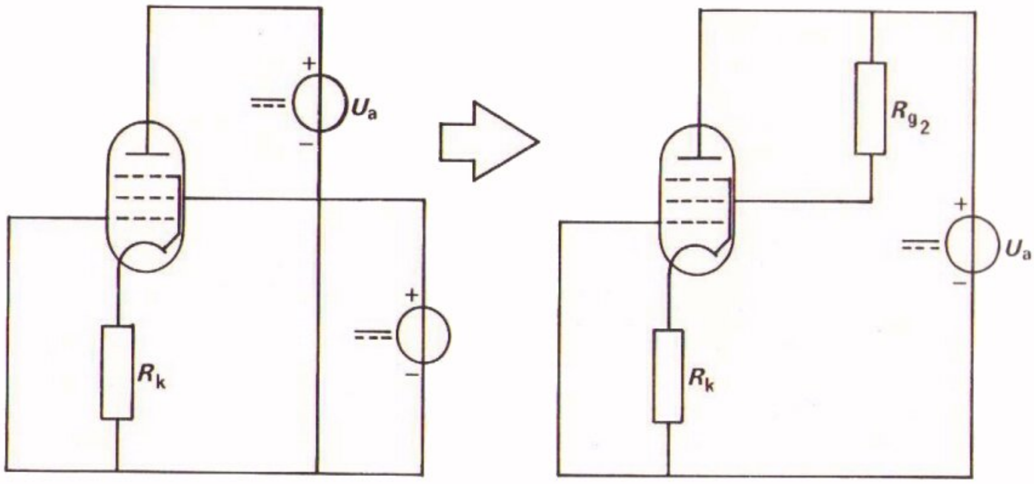
INSTELLING VAN DE PENTODE MET ÉÉN SPANNINGSBRON

Terwille van een goed begrip hebben we de instelling van de pentode uitgelegd met gebruikmaking van drie afzonderlijke gelijkspanningsbronnen. Dit is natuurlijk erg onpraktisch.
De gelijkspanningsbron die zorgt voor negatieve roosterspanningen kunnen we kwijt raken door het aanbrengen van een kathodeweerstand R_k. Dit hebben we bij de triode ook gedaan. De buis krijgt dan een automatische negatieve roosterspanning. De kathodestroom loopt namelijk door deze weerstand en daardoor krijgt de kathode een positieve spanning ten opzichte van de kathode. De manier van doen is in volgende figuur uitgebeeld.



Ook de spanningsbron die U_{g2} levert, kunnen we missen. We hebben reeds opgemerkt dat U_{g2} gewoonlijk lager gekozen wordt dan U_a. We kunnen de lagere U_{g2} via een weerstand uit de U_a - spanningsbron verkrijgen. Door het schermrooster loopt namelijk de schermroosterstroom I_{g2}. Deze stroom zal over een weerstand R_{g2} in de schermroosterleiding voor de gewenste spanningsdaling zorgen.

Het schema wordt dan als volgt:



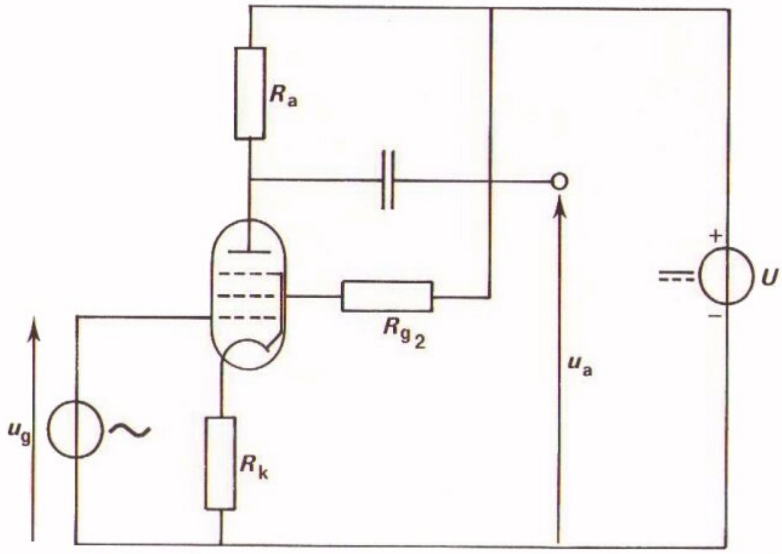
De schermroosterspanning $U_{g2} = U_a - I_{g2} \cdot R_{g2}$

We hebben we een schakeling verkregen waarin de drie instelspanningen uit één voedingsbron worden betrokken.

Opmerking:

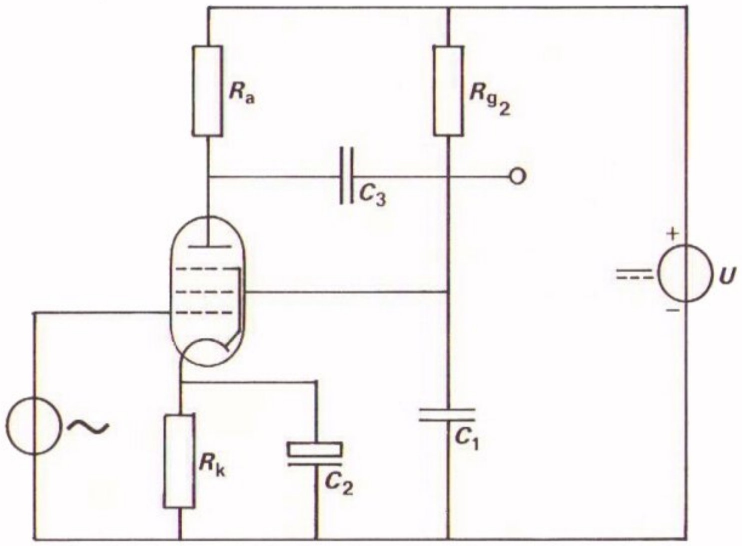
Met U_a, U_{g2} en U_{g1} worden altijd de spanningen bedoeld ten opzichte van de kathode. We moeten dus eigenlijk U_{ak}, U_{g2k} en U_{g1k} schrijven. Dit laatste wordt niet altijd consequent doorgevoerd, vooral niet als er geen verwarring door kan ontstaan; bijvoorbeeld als U_{Rk} relatief klein is.

DE PENTODE ALS WISSELSPANNINGSVERSTERKER



Evenals de triode wordt de pentode als wisselspanningsversterker gebruikt. Daartoe wordt een anodeweerstand R_a opgenomen. De schakeling gaat er uitzien als in nevenstaand schema.

Bij de behandeling van de triode hebben we reeds vermeld dat het vaak wenselijk is R_k met een grote C te *ontkoppelen*. Hierdoor wordt R_k voor wisselstroom kortgesloten, zodat de kathode voor wisselspanning aan aarde komt te liggen.



Het is wenselijk ook R_{g2} te ontkoppelen, waardoor dan ook R_{g2} voor wisselstroom wordt kortgesloten. Het schema gaat er uitzien als in nevenstaande figuur.

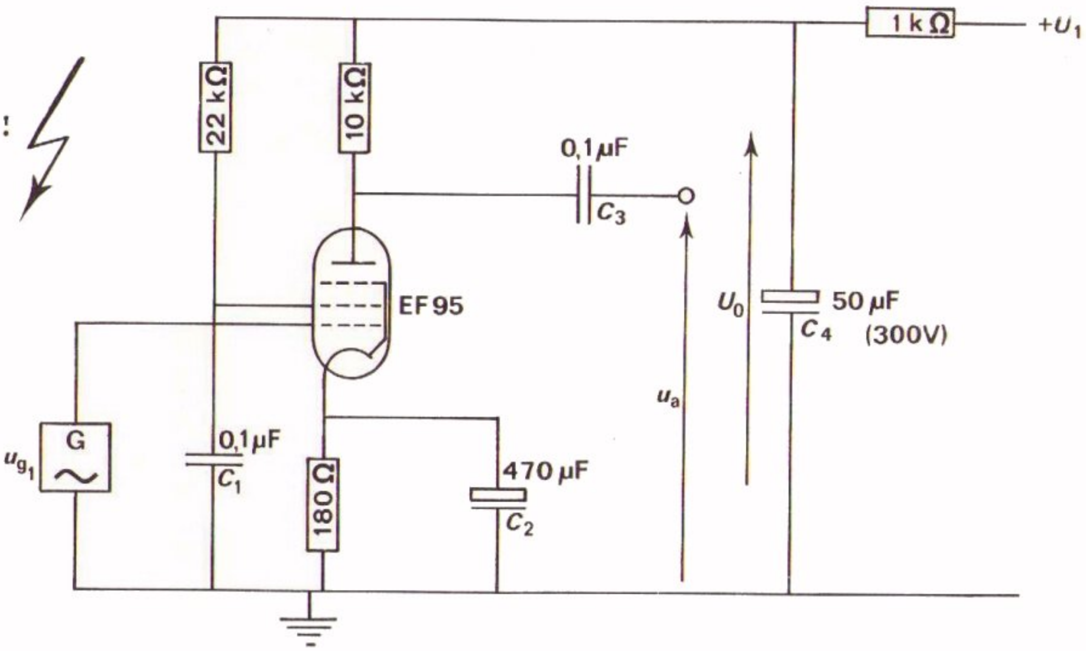
Op deze ontkoppelingen komen we nog nader terug. In volgende opdracht gaan we reeds ervaren dat de ontkoppelcondensator C_1 en C_2 de wisselstroomversterking ten goede komen.
Onder de wisselspanningsversterking verstaan we, evenals bij de triode:

$$A_u = \frac{u_a}{u_{g1}}$$

Vraag: Waarom is C_3 aangebracht?

OPDRACHT: DE PENTODE ALS WISSELSPANNINGSVERSTERKER

Pas op !



- Bouw deze schakeling. Laat de condensatoren C_1 en C_2 nog even weg.

- Stel U_0 in op 200 V.

- Stel u_{g1} in op U_{g1t} = 100 mV bij 1 kHz.

- meet u_a en bepaal de wisselspanningsversterking.

A_u =

- Breng nu de elco van 470 μF aan over R_k en meet weer u_a.
  Bepaal A_u.

A_u =

- Breng nu ook de andere ontkoppelcondensator C_1 = 0,1 μF aan en herhaal de meting.

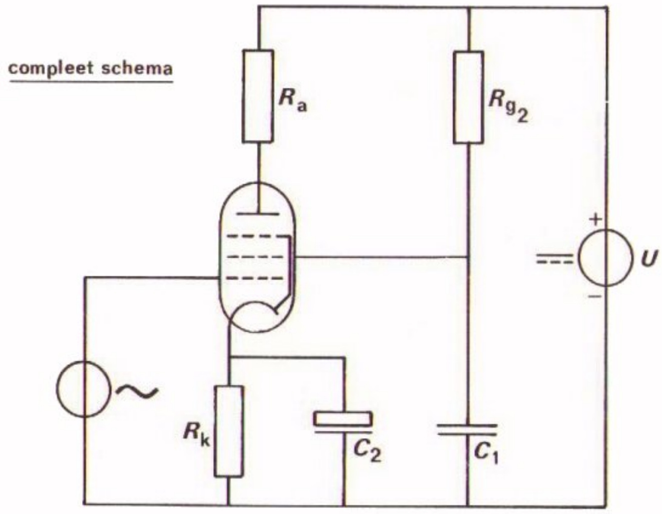
A_u =

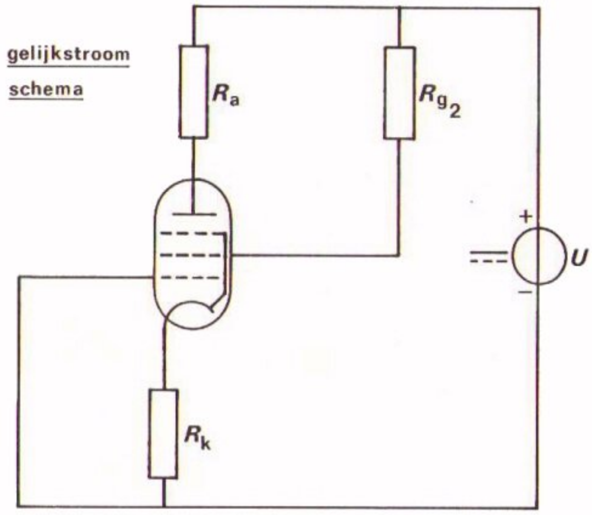
CONCLUSIES:

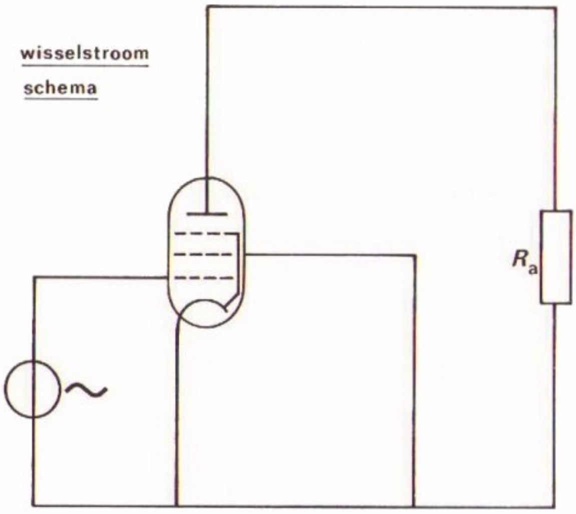
Met behulp van een pentode kan men wisselspanning versterken.

Deze versterking neemt toe als we R_k en R_{g2} ontkoppelen.

Evenals bij de triode kunnen we in het complete schema van een wisselspanningsversterker van een pentode de werking voor wisselspanning en voor gelijkspanning van elkaar scheiden. We tekenen daartoe afzonderlijk een gelijk- en een wisselstroomschema.
Hieronder zien we dit:





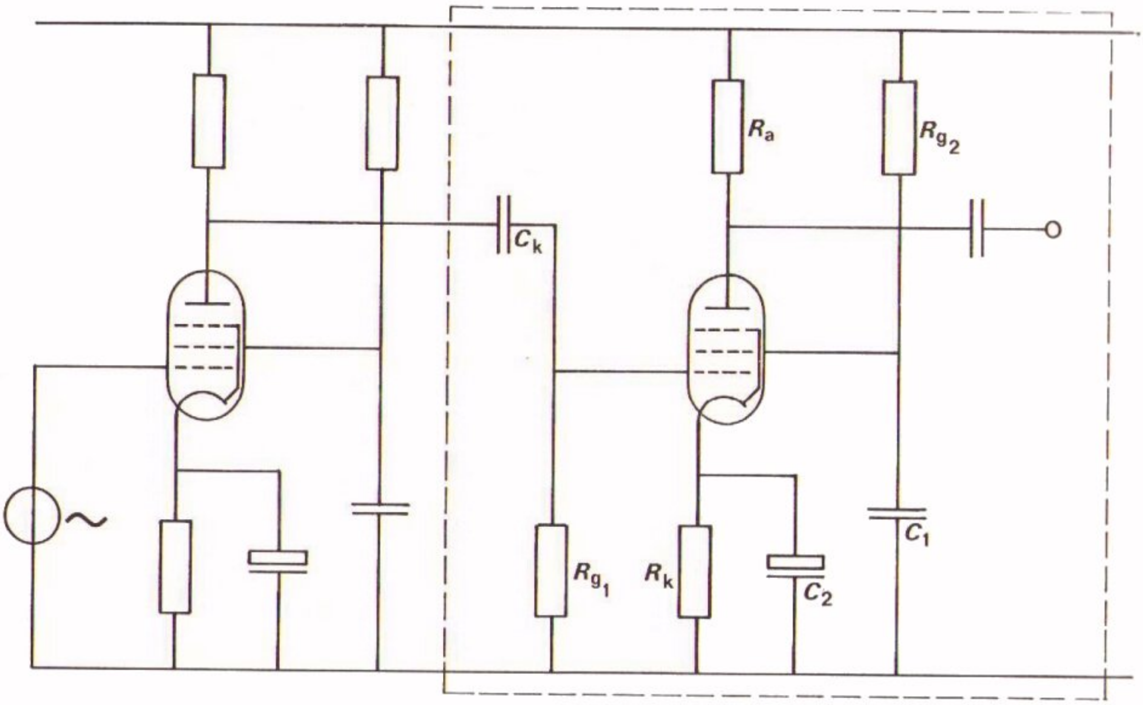


Alle condensatoren zijn weggelaten. De wisselspanningsbron is kortgesloten.
Dit schema is van belang als men de instelspanningen en stromen wil nagaan.

In plaats van de condensatoren zijn kortsluitingen aangebracht. De gelijkspanningsbron is kortgesloten.
Dit schema is van groot gemak bij het bestuderen van de wisselstroomeigenschappen van de versterker.

VERDERE UITBREIDING VAN HET SCHEMA VAN DE VERSTERKER

Om meer versterking te krijgen schakelt men verschillende versterkertrappen achter elkaar.
Hieronder zijn twee trappen met pentodes getekend.



U ziet dat er aan de ingang van de tweede trap (binnen het gestreepte vierkant) twee componenten bijgekomen zijn. De uitbreiding bestaat uit de *koppelcondensator* C_k en de *roosterlekweerstand* R_{g1}.

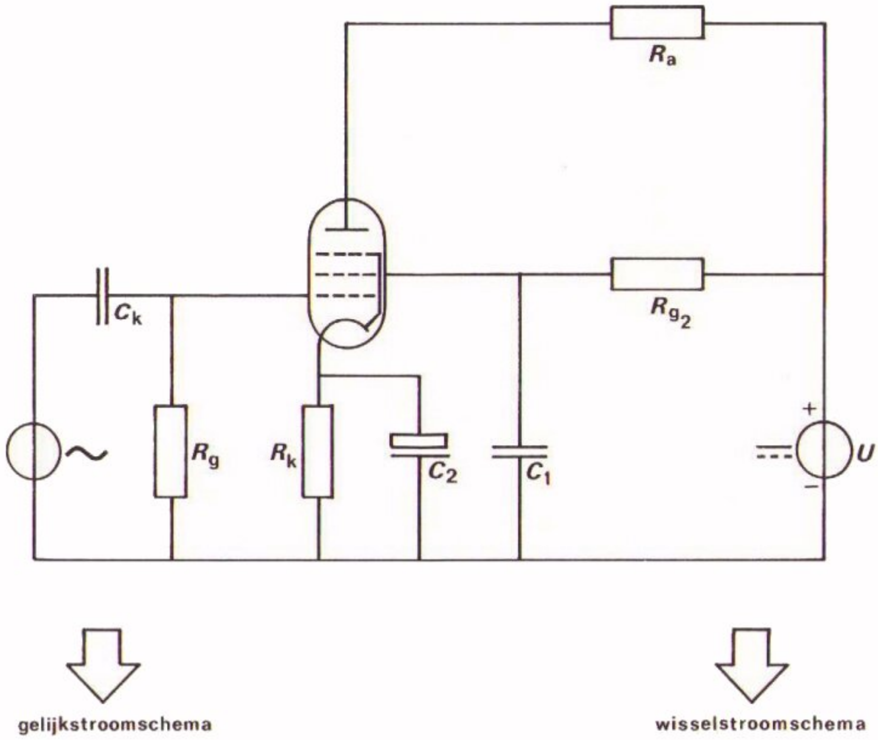
De koppelcondensator C_k koppelt beide trappen voor wisselspanning aan elkaar en blokkeert tegelijkertijd de hoge gelijkspanning die op de anode staat.

De roosterlekweerstand R_{g1} heeft een veel gecompliceerder functie:

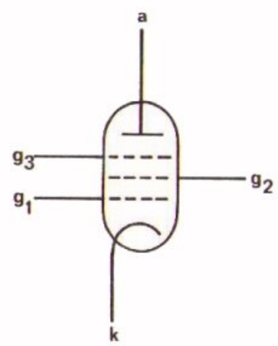
- hij zorgt ervoor dat elektronen die van de kathode op het rooster terechtkomen weer kunnen wegvloeien, zodat het rooster niet negatief geladen wordt,
- hij zorgt ervoor dat een galvanische (ook wel metallische genoemd) verbinding bestaat tussen rooster en kathode. Omdat namelijk normaal geen stroom door R_{g1} loopt, ligt het rooster op dezelfde spanning (potentiaal) als de onderkant van R_{g1}, dus op aardpotentiaal. De spanning over R_k staat dus inderdaad tussen kathode en rooster.
- tenslotte is R_{g1} ook nodig om de wisselspanning via C_k op het rooster te kunnen aansluiten. Door een condensator loopt niet echt een wisselstroom. De wisselstroom bestaat uit de af- en aanvoer van lading op de platen. Deze af- en aanvoer is alleen mogelijk als er een galvanische verbinding bestaat tussen de platen.

OEFENING

Teken het gelijk en wisselstroomschema van onderstaande versterker afzonderlijk.



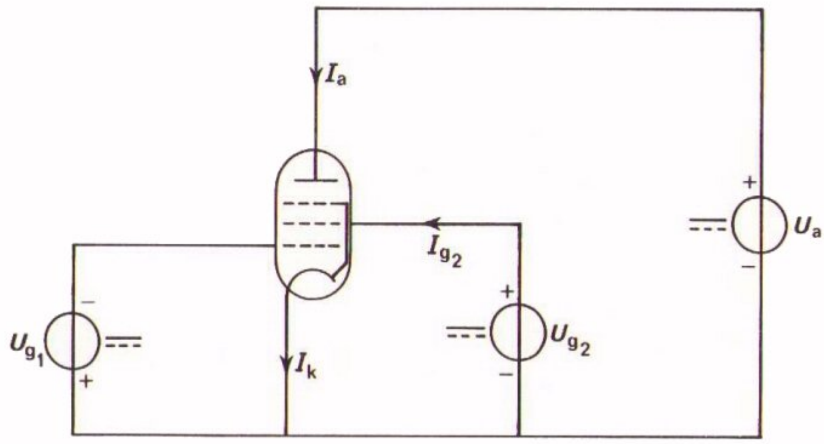
SAMENVATTING

- 

Dit is het schema-symbool van de pentode. De roosters hebben de volgende namen.

g_1 - stuurrooster (komt overeen met g van de triode)
g_2 - schermrooster
g_3 - keerrooster

Soms is g_3 inwendig doorverbonden met k.

- 

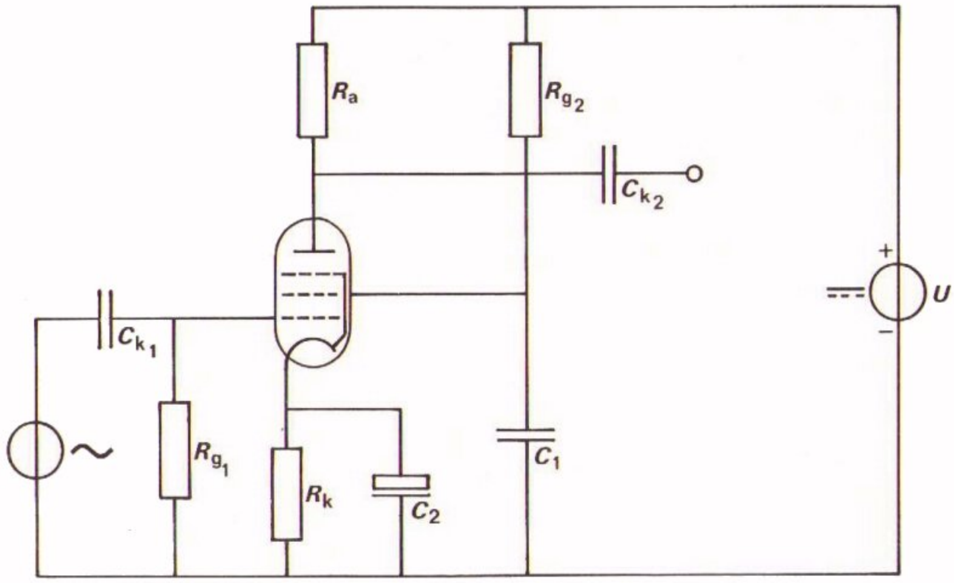
Een pentode heeft drie instelspanningen:

$$U_a,\ U_{g2} \text{ en } U_{g1}$$

Hij heeft twee instelstromen: I_a en I_{g2}.

De kathodestroom is de som van deze twee stromen:

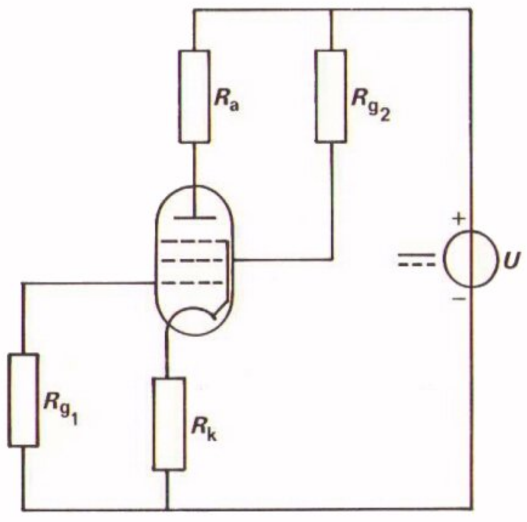
$$I_k = I_a + I_{g2}$$

• 

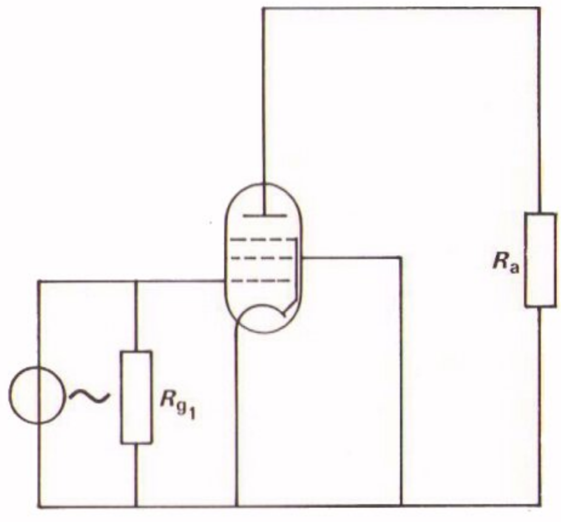
Dit is een compleet schema van de pentode als wisselspanningsversterker.

- De buis is voorzien van een automatische negatieve roosterspanning door middel van de kathodeweerstand R_k.
- R_k is ontkoppeld door C_2.
- R_{g2} is ontkoppeld door C_1.
- De koppelcondensator C_{k1} dient om een gelijkspanning van de voorafgaande versterkertrap te blokkeren.
- R_{g1} is de roosterlekweerstand die voorkomt dat het stuurrooster een lading krijgt.

• Bovenstaand schema kan men opsplitsen in:



gelijkstroomschema



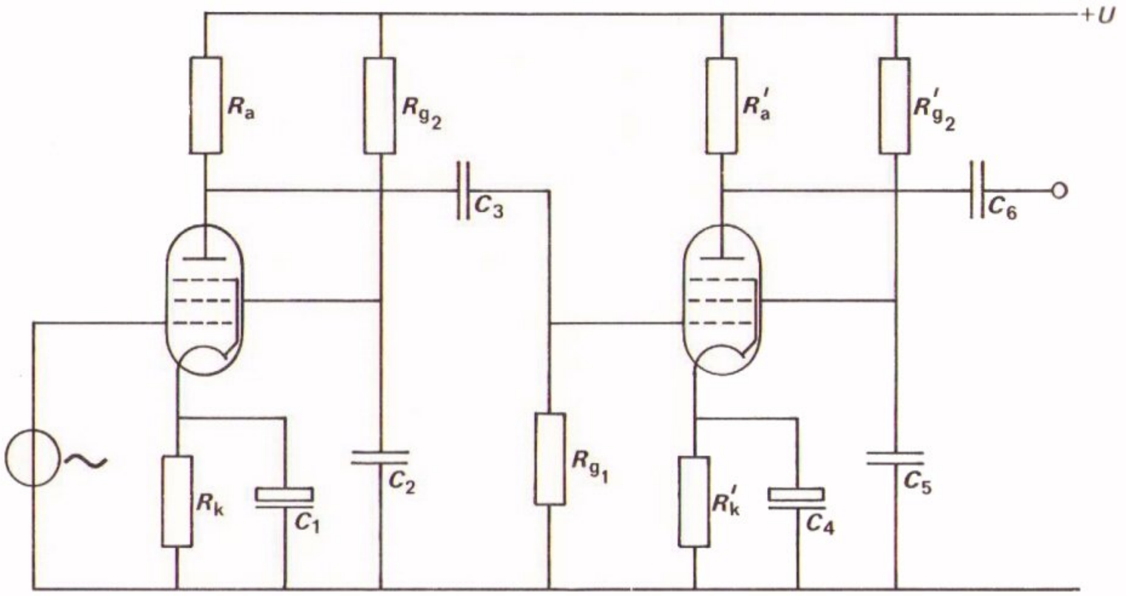
wisselstroomschema

NAAM:

KLAS:

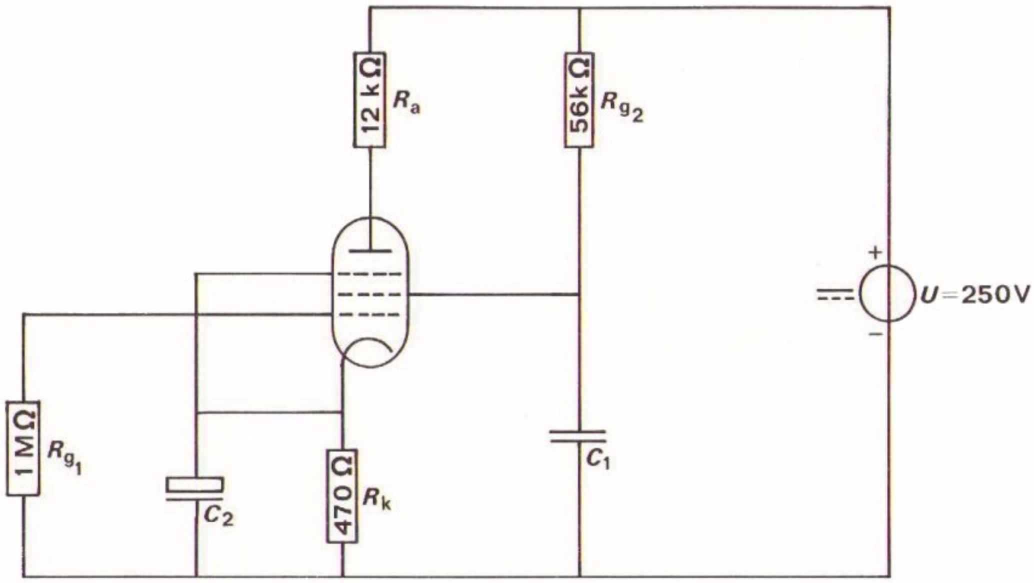
OEFENINGEN

1. Teken van onderstaande tweetrapsversterker het gelijk- en het wisselstroomschema.



gelijkstroomschema

wisselstroomschema



Van deze schakeling zijn de instelstromen gegeven.

I_a = 5 mA I_{g2} = 1 mA

Bepaal de instelspanningen.

U_{g1} =

U_{g2} =

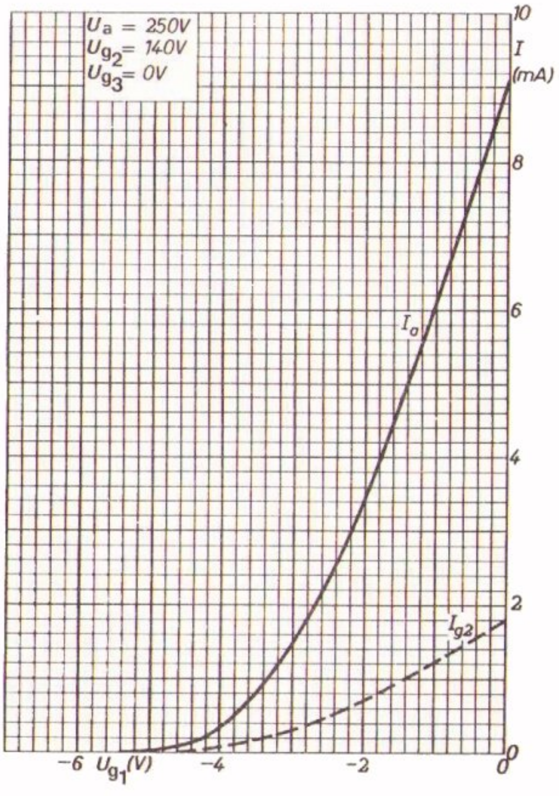
U_a =

INLEIDING

In deze les komen de karakteristieken van de pentode ter sprake. We kunnen deze sneller behandelen, omdat er grote overeenkomsten bestaan met de karakteristieken van de triode.

DE I_a - U_{g1} - KARAKTERISTIEK

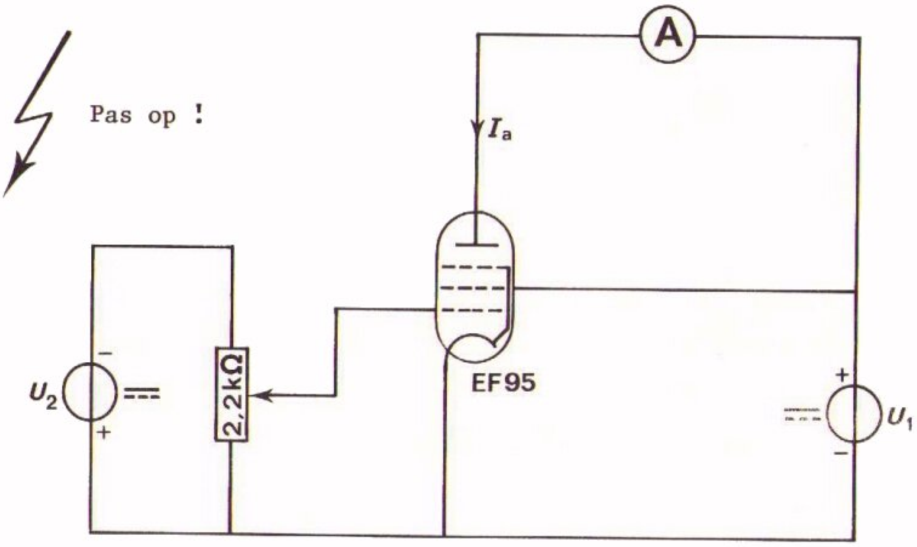
Evenals bij de triode wordt bij de pentode veel gebruik gemaakt van de overdrachtskarakteristiek.
Bij de I_a - U_g - karakteristiek van de triode wordt opgegeven door welke anodespanning de karakteristiek geldt. Dit doet men bij de pentode ook, maar bovendien moet men de schermroosterspanning U_{g2} erbij geven. Van deze twee spanningen is de schermroosterspanning het belangrijkste. Zoals we gezien hebben heeft U_a immers veel minder invloed dan U_{g2} op de anodestroom en dus ook op de overdrachtskarakteristiek.



Hier ziet U een voorbeeld van een overdrachtskarakteristiek van een pentode.

In de grafiek ziet U ook het verloop van de schermroosterstroom getekend. We gaan daar niet nader op in.

OPDRACHT: METING VAN DE I_a - U_{g1} - KARAKTERISTIEK



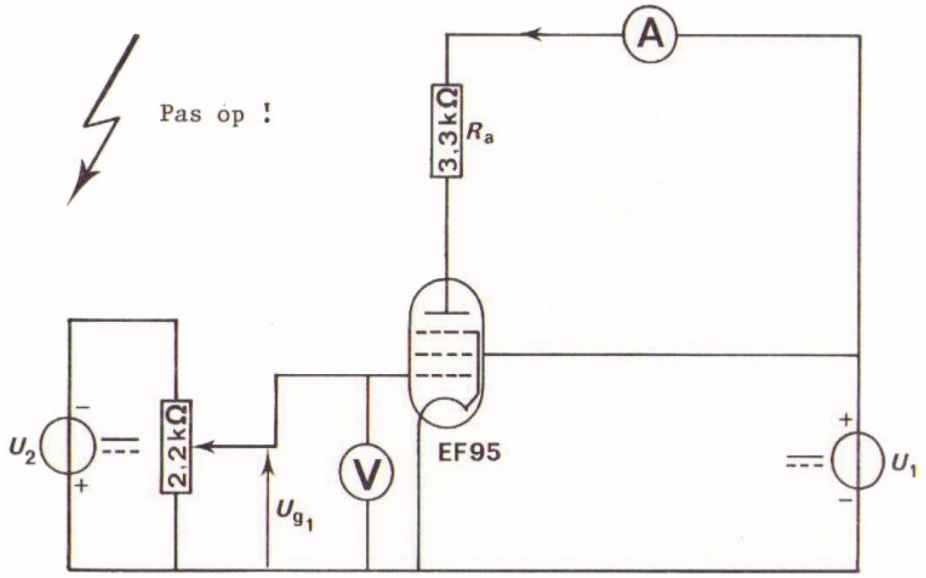
- Bouw deze schakeling.
- Stel U_2 in op 8 V.
- Stel U_1 in op 150 V.
- Meet de anodestroom I_a bij de waarden van U_{g1} uit onderstaande tabel. Noteer deze in de tabel.
- Meet ook het afknijppunt en noteer dit in de tabel.
- Zet de gevonden waarden uit in de grafiek op blad B313.5. Vermeld bij de karakteristiek U_a = U_{g2} = 150 V.

U_a = U_{g2} = 150 V

U_{g1} (V)	0	-1	-2	-3	-4	
I_a (mA)						0

OPDRACHT: STATISCHE EN DYNAMISCHE KARAKTERISTIEK

Bij de vorige opdracht was $U_a = U_{g2} = 150$ V.
Bij de volgende opdracht houden we U_{g2} op 150 V, maar U_a is hier niet meer constant door het aanbrengen van een anodeweerstand R_a.
Hierdoor zal U_a lager zijn naarmate I_a groter is.



- Breid de schakeling uit met R_a = 3k3 en een voltmeter tussen anode en kathode.

- Stel U_2 in op 8 V en U_1 op 150 V.

- Meet I_a bij de waarden van U_{g1} uit onderstaande tabel.

- Bereken telkens $U_a = U_1 - I_a R_a$ en noteer de waarden eveneens in de tabel.

U_{g2} = 150 V

U_{g1} (V)	0	-1	-2	-3	-4	
I_a (mA)						0
U_a (V)						150

- Vergelijk nu de I_a-waarden uit deze tabel met die uit de tabel op het vorig blad.
  U ziet dat deze nagenoeg hetzelfde zijn.

CONCLUSIE

De dynamische karakteristiek valt vrijwel samen met de statische. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat bij een pentode I_a nauwelijks afhangt van U_a, en overwegend door U_{g2} wordt bepaald.

OPDRACHT: DE OVERDRACHTSKARAKTERISTIEK BIJ EEN LAGERE WAARDE VAN U_{g2}

Bij de opdracht op blad B313.2 was $U_a = U_{g2} = 150$ V.
Bij die op blad B313.3 bleef U_{g2} gelijk aan 150 V; de waarde van U_a was niet alleen lager, maar bovendien niet constant.
We gaan nu onderzoeken wat er met de $I_a - U_{g1}$ - karakteristiek gebeurt als we U_{g2} kleiner dan 150 V maken en U_{g2} en U_a daarbij weer beide constant houden.

- Maak gebruik van de schakeling op Uw paneel.

- Sluit R_a kort.

- Stel U_2 in op 8 V.

- Stel U_1 in op 75 V, zodat zowel U_{g2} als U_a nu gelijk zijn aan 75 V en constant.

- Meet I_a bij de waarden van U_{g2} uit onderstaande tabel. Noteer de gegevens in de tabel.

$U_a = U_{g2}$ = 75 V

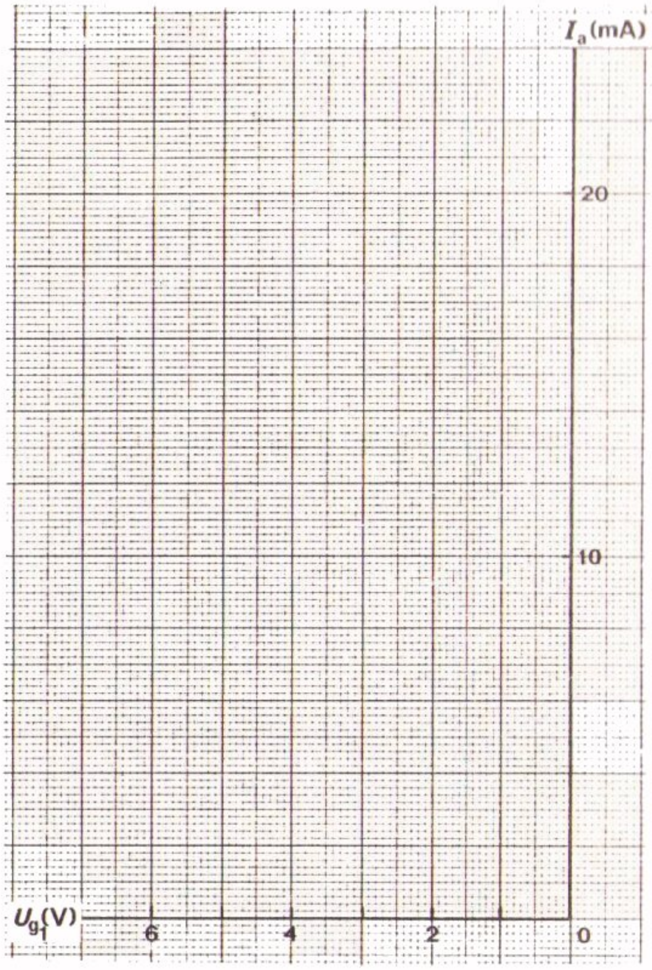
U_{g1} (V)	0	-1	-2	-3
I_a (mA)				

- Teken aan de hand van de verkregen waarden de overdrachtskarakteristiek in de grafiek op volgend blad. Vermeld bij de karakteristiek $U_a = U_{g2} = 75$ V.

CONCLUSIE

U_{g2} heeft grote invloed op de overdrachtskarakteristiek. De invloed van U_{g2} bij de pentode is dezelfde als die van U_a bij de triode.

OVERDRACHTSKARAKTERISTIEKEN VAN DE PENTODE



CONCLUSIES

We zetten hier de conclusies uit de voorafgaande opdrachten bij elkaar.

De I_a - U_{g1} - karakteristiek wordt sterk beïnvloed door de schermroosterspanning; de anodespanning heeft nauwelijks invloed.

Dynamische- en statische karakteristieken vallen daarom vrijwel samen.

Door U_{g2} te halveren wordt de roosterruimte ook ongeveer tot de helft teruggebracht.

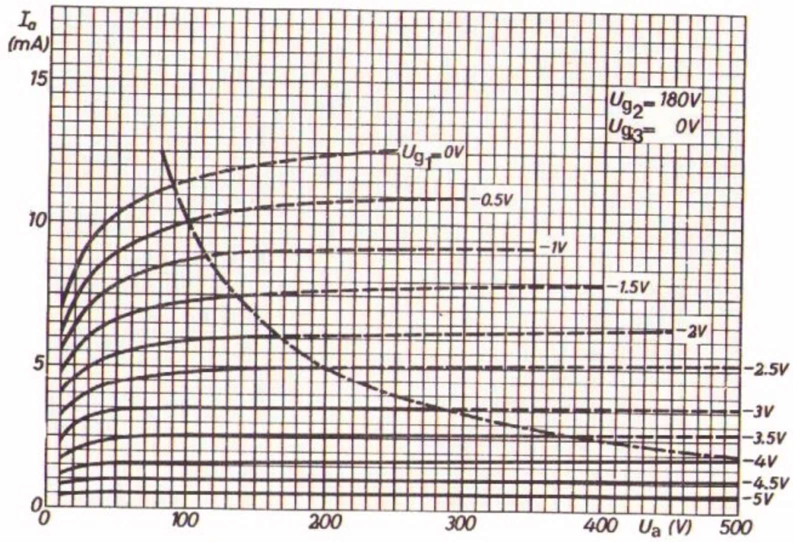
VRAAG

Hoe groot is de steilheid S van de karakteristieken tussen U_{g1} = -1 V en -2 V?

Bij U_{g2} = 150 V: S = [ ]   en bij U_{g2} = 75 V: S = [ ]

DE I_a - U_a - KARAKTERISTIEKEN

Hier ziet U een voorbeeld van een bundel uitgangskarakteristieken van een pentode.



o Ook hier is de U_{g2} vermeld waarbij de karakteristieken zijn bepaald.

o Opvallend is dat voor niet te kleine waarden van U_a de karakteristieken bijna horizontaal lopen.

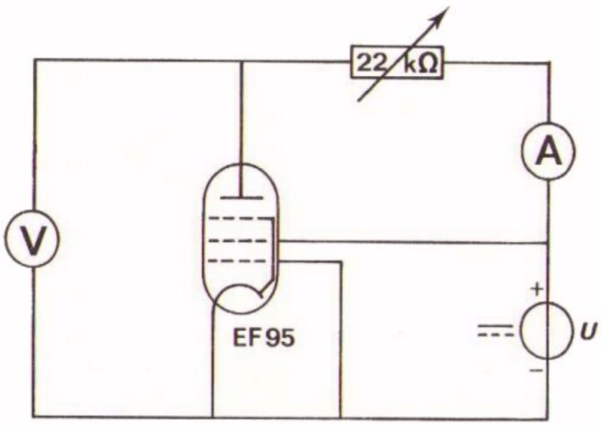
VRAAG:

Hoe groot is de roosterruimte bij bovenstaande bundel ongeveer?

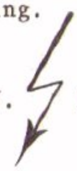
Roosterruimte:

OPDRACHT: METING VAN I_a - U_a - KARAKTERISTIEKEN

In deze opdracht gaan we een uitgangskarakteristiek van de EF 95 bepalen bij U_{g2} = 150 V en een bij U_{g2} = 75 V.
We houden U_{g1} daarbij op 0 V.



- Bouw deze schakeling.
- Stel U in op 150 V.



Pas op !

- Varieer R_a zodanig dat U I_a kunt meten bij de U_a-waarden uit onderstaande tabel.
- Meet I_a en zet de gevonden waarden in de tabel.
- Teken de gemeten I_a - U_a - karakteristiek in de bovenste grafiek op het volgend blad.

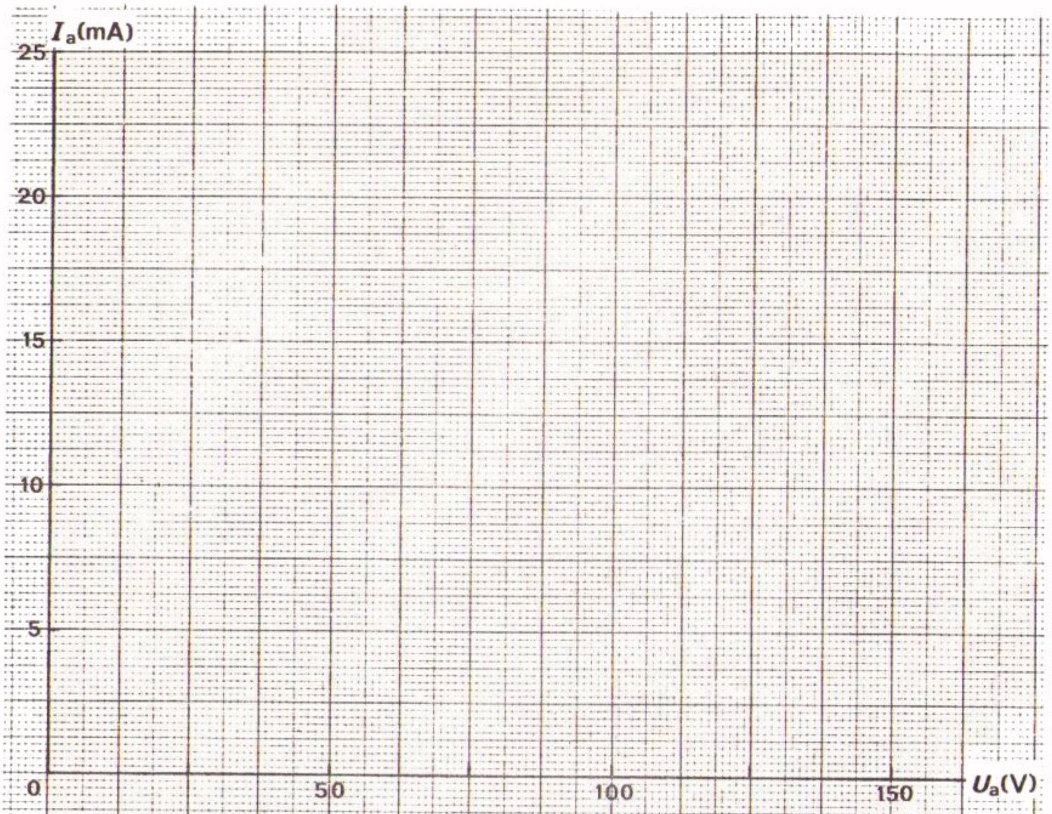
U_{g2} = 150 V	U_a (V)	150	125	100	75	50	25	20	15	10
	I_a (mA)									

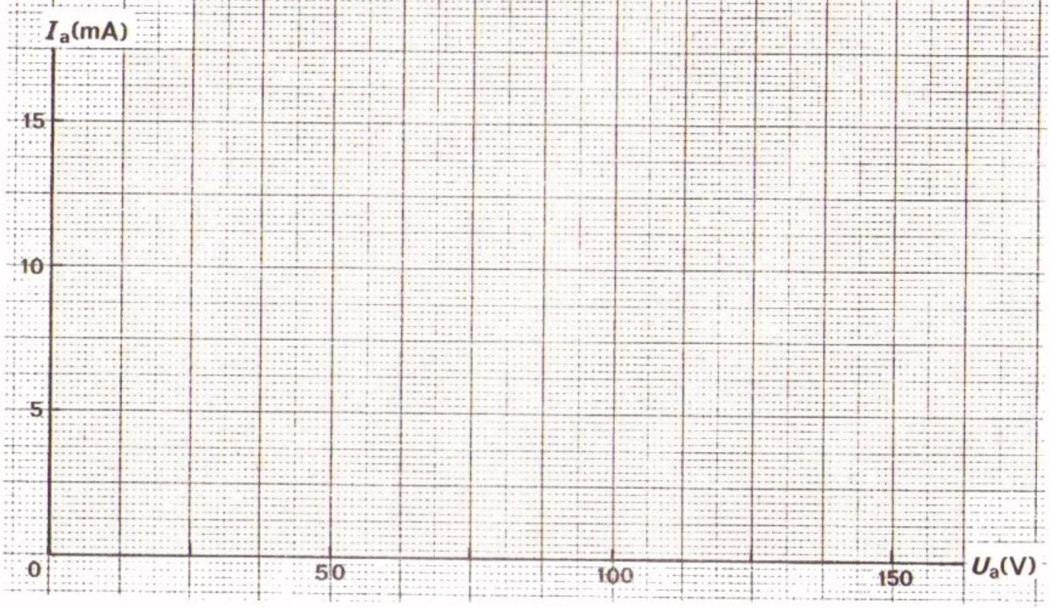
- Stel vervolgens U in op 75 V.
- Meet opnieuw I_a en zet de gevonden waarden in de tabel.
- Teken de gemeten I_a - U_a - karakteristiek in de onderste grafiek op volgend blad.

U_{g2} = 75 V	U_a (V)	75	50	25	20	15	10
	I_a (mA)						

- De laatste karakteristiek moet u voor U_a-waarden boven 75 V gestippeld ongeveer horizontaal doortekenen.

  We kunnen hierboven U_a = 75 V niet meer meten, omdat we dan een aparte voedingsbron nodig hebben voor de anodespanning; U_{g2} is immers 75 V.





CONCLUSIE

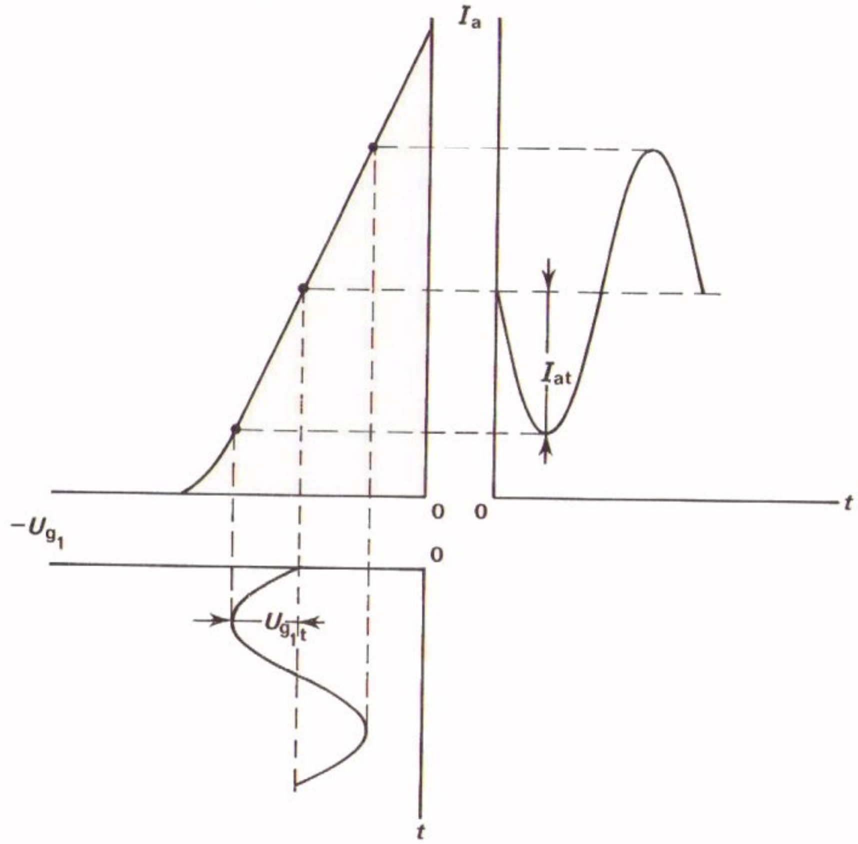
We hebben de uitgangskarakteristieken gemeten voor $U_{g1} = 0$.
Het blijkt dat de maximale stroom I_a die optreedt bij $U_{g2} = 150$ V ongeveer tweemaal zo groot is als die bij $U_{g2} = 75$ V.
Hetzelfde kunt U zien in de overdrachtskarakteristiek op blad B313.5.
Ga dit na.

GEBRUIK VAN DE I_a - U_{g1} - KARAKTERISTIEK

Evenals bij de triode wordt bij de pentode de overdrachtskarakteristiek gebruikt:

- voor het bepalen van de instelling.
- om na te gaan hoe een roosterwisselspanning verwerkt wordt tot anodewisselstroom.

Hieronder ziet U nogeens de constructie van de anodestroom als de geschetste roosterwisselspanning wordt toegevoerd.



Bij de triode hebben we gesproken over de statische steilheid S. Hieronder verstonden we de verhouding van I_a en U_g bij $R_a = 0$.
Als R_a niet gelijk was aan nul, kregen we met de kleinere dynamische steilheid S_d te maken.

Bij de pentode heeft R_a geen invloed op de karakteristiek. De dynamische en de statische I_a - U_{g1} - karakteristiek vallen samen, zodat ook het verschil tussen S_d en S zinloos geworden is.
Bij de pentode spreekt men over *DE* steilheid.

$$S = \frac{I_a}{U_{g1}}$$

De fabrikant geeft deze op in het buizenboek bij een gegeven instelstroom I_a.

DE WISSELSPANNINGSVERSTERKING

Anodewisselspanning verkrijgen we over de anodeweerstand R_a.
Deze anodewisselspanning:

$$u_a = i_a \cdot R_a$$

Nu geldt $S = \frac{i_a}{u_{g1}}$, dus $i_a = \ u_{g1}$

We vinden dan voor de anodewisselspanning:

$$u_a = S.u_{g1} \cdot R_a$$

Voor de wisselspanningsversterking van de pentode vinden we tenslotte:

$$A_u = \frac{u_a}{u_{g1}} = \frac{S.u_{g1} \cdot R_a}{u_{g1}} \text{ , of}$$

$$\boxed{A_u = S.R_a}$$

Bij de triode hebben we voor de wisselspanningsversterking gevonden: $A_u = S_d \cdot R_a$. Ziet U de overeenkomst en het verschil?

OEFENINGEN

1. Hoe groot is de wisselspanningversterking van een pentode, als gegeven is $S = 5$ mA/V; $R_a = 10$ kΩ ?

   $A_u =$ ☐

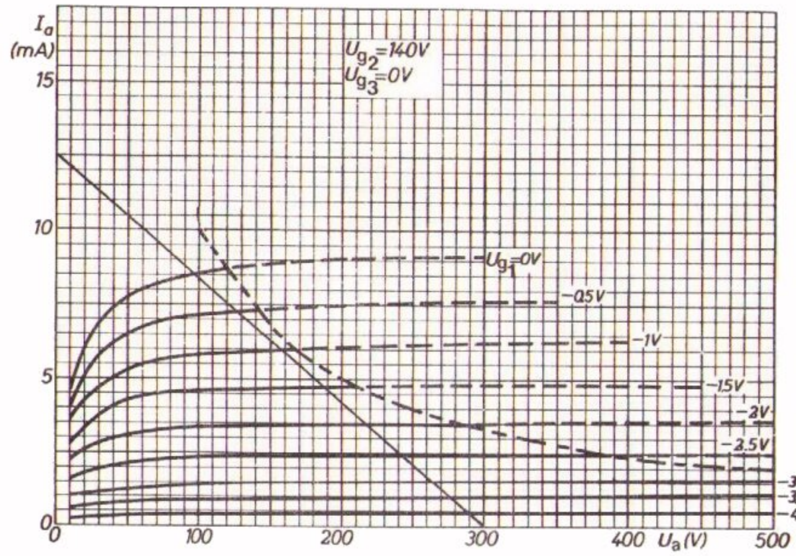
2. Hoe groot wordt de versterking als een tweemaal zo "steile buis" wordt gebruikt?

   $A_u =$ ☐

3. Hoe groot wordt de versterking als bovendien een tweemaal zo grote weerstand wordt gebruikt?

   $A_u =$ ☐

UITGANGSKARAKTERISTIEKEN EN BELASTINGLIJN



Met behulp van de belastinglijn in deze bundel uitgangskarakteristieken is het mogelijk de instelling te bepalen.

In bovenstaande bundel I_a - U_a - karakteristieken is de belastinglijn getekend voor:

- een voedingsspanning van 300 V.
- R_a = 24 kΩ.

Ga dit na.

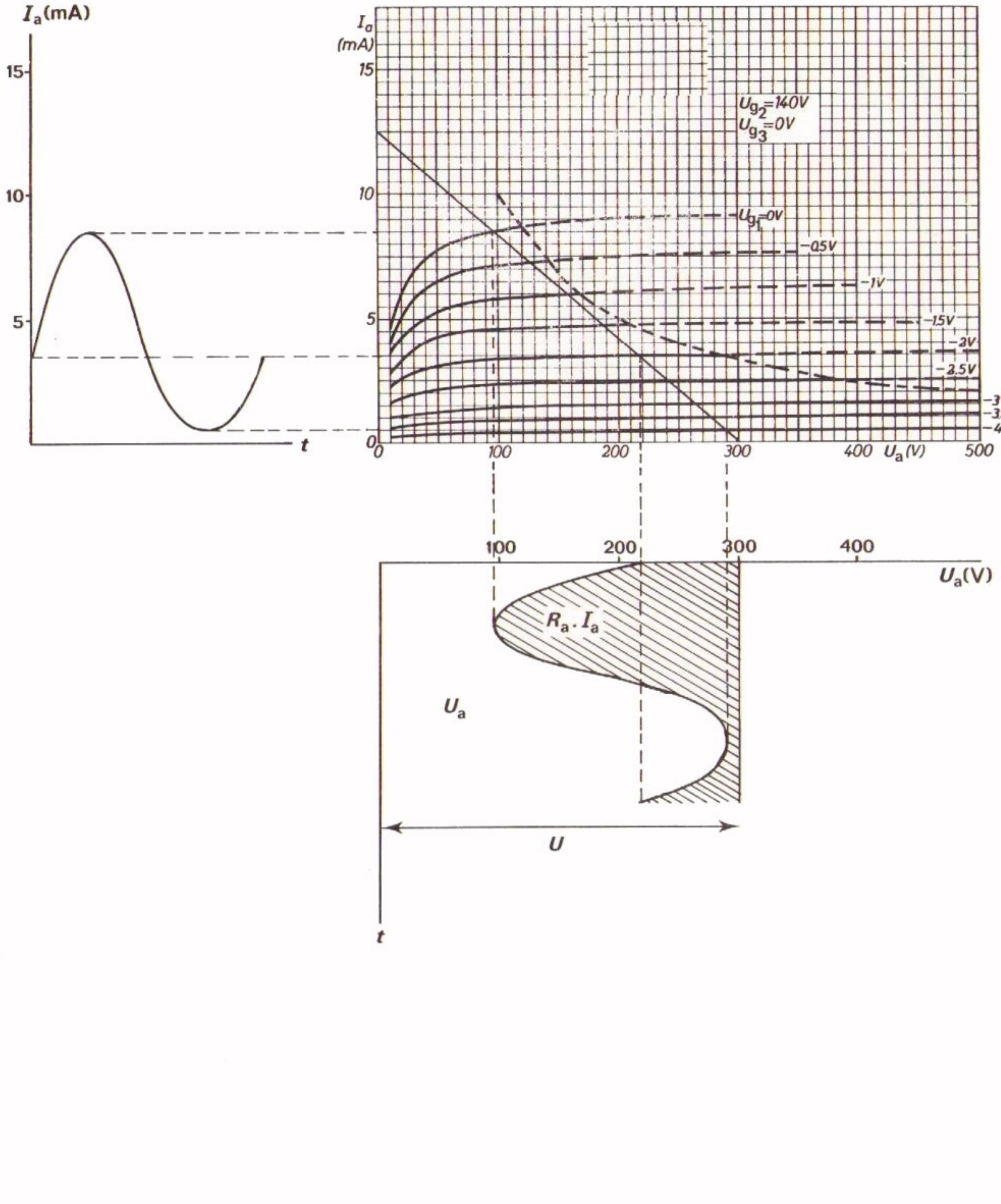
Bij U_{g1} = -2 V en U_{g2} = 140 V vinden we als instelling:

I_{aW} = 3,5 mA

U_{aW} = 218 V

Ga dit na.

Evenals bij de triode kan men bij de pentode aan de hand van de uitgangs-karakteristieken nagaan hoe uit het verloop van I_a dat van U_a volgt.
Ga dit in onderstaande figuur nog eens zorgvuldig na.



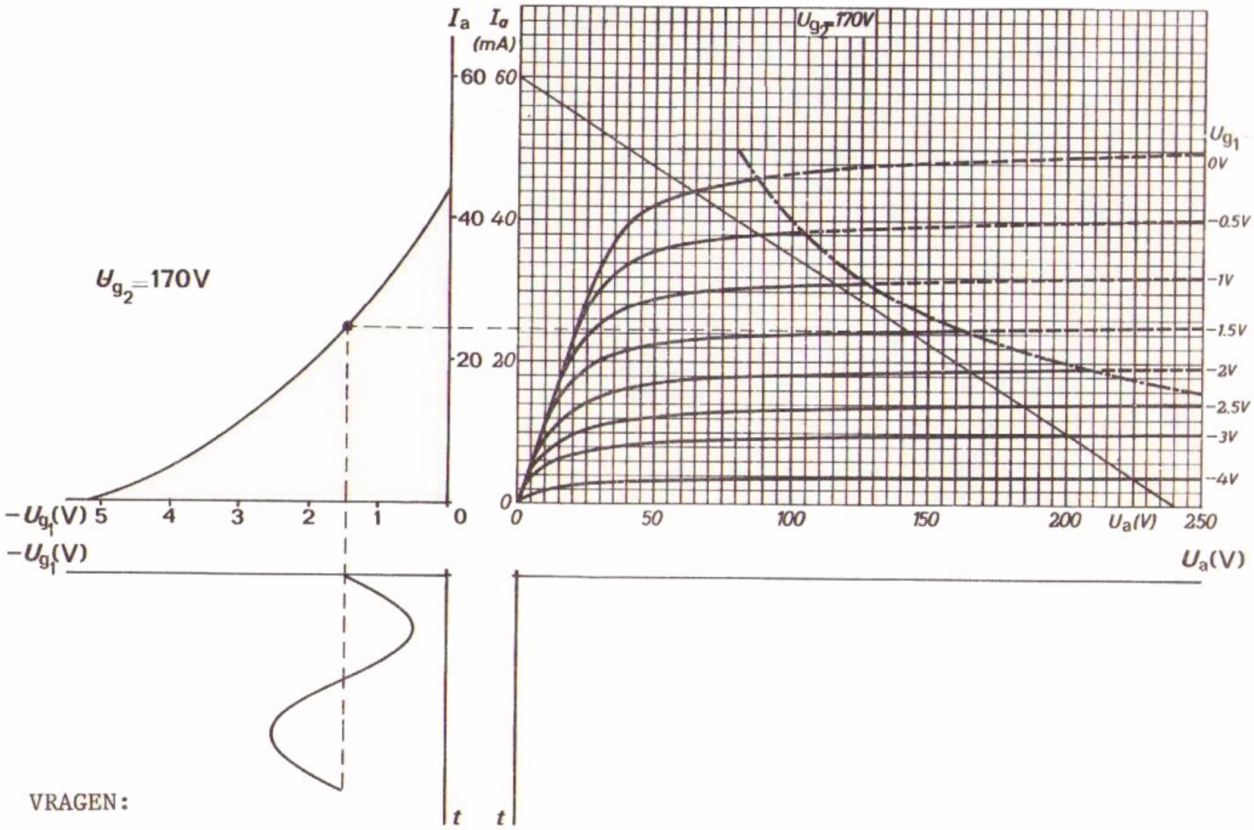
COMBINATIE VAN $I_a - U_{g1}$ EN $I_a - U_a$ - KARAKTERISTIEKEN

Hieronder ziet U de $I_a - U_{g1}$ - karakteristiek en de $I_a - U_a$ - karakteristiek van pentode naast elkaar getekend.

Op dezelfde manier als bij de triode wordt met behulp van deze combinatie de uitgangswisselspanning u_a bepaald.

Beantwoord de vragen die onder deze grafiek worden gesteld.

Daaruit blijkt of U dit volkomen hebt begrepen.



VRAGEN:

- Hoe groot zijn de instelspanningen U_{g1} en U_{g2}?

  U_{g1} = [ ] U_{g2} = [ ]

- Hoe groot is R_a? R_a = [ ]

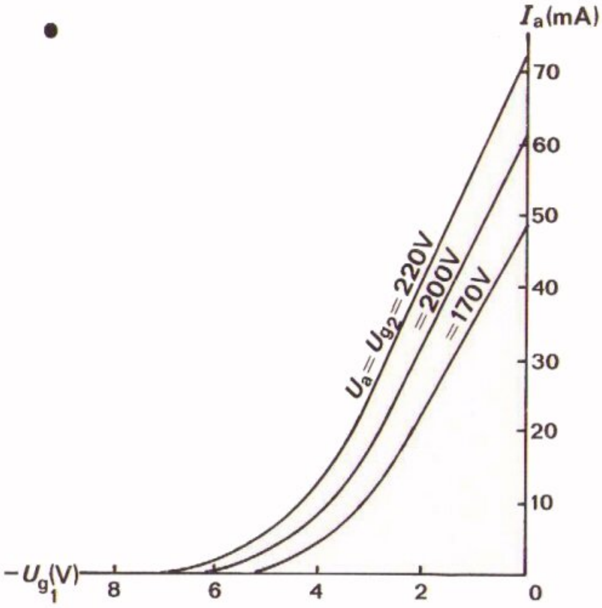
- Hoe groot is de gelijkspanning over de buis? U_a = [ ]

- Hoe groot is de instelstroom I_a? I_a = [ ]

- Construeer de uitgangswisselspanning voor de gegeven u_{g1}.

- Bepaal de versterking: A_u = [ ]

•

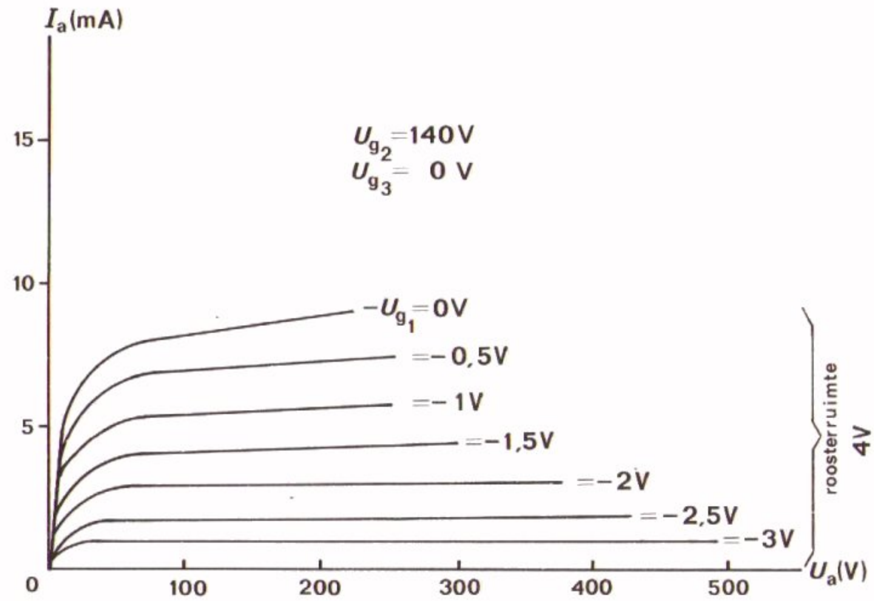


Dit is een $I_a - U_{g1}$ - karakteristiekenbundel.

De karakteristiek waarmee we te maken hebben wordt bepaald door de schermroosterspanning.

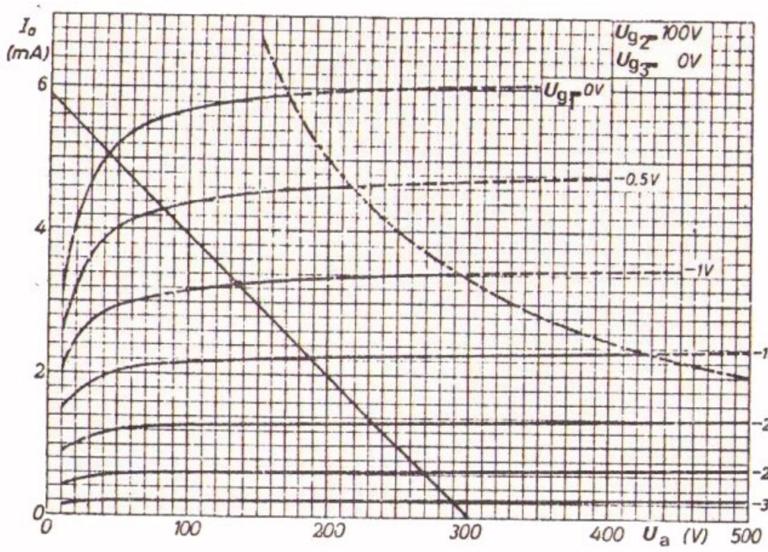
De dynamische pentode-karakteristiek wijkt nagenoeg niet af van de statische. In de praktijk mag daarom met de statische steilheid S gerekend worden.

•



Ook de uitgangs- of $I_a - U_a$ - karakteristieken worden opgegeven. Daarbij wordt vermeld voor welke U_{g2} zij gelden.

- Met behulp van een belastinglijn in de bundel uitgangskarakteristieken kan men de instelling van de pentode bepalen.



In dit voorbeeld geldt bij U_{g1} = -1 V en U_{g2} = 100 V:

I_a = 3,25 mA

U_a = 135 V

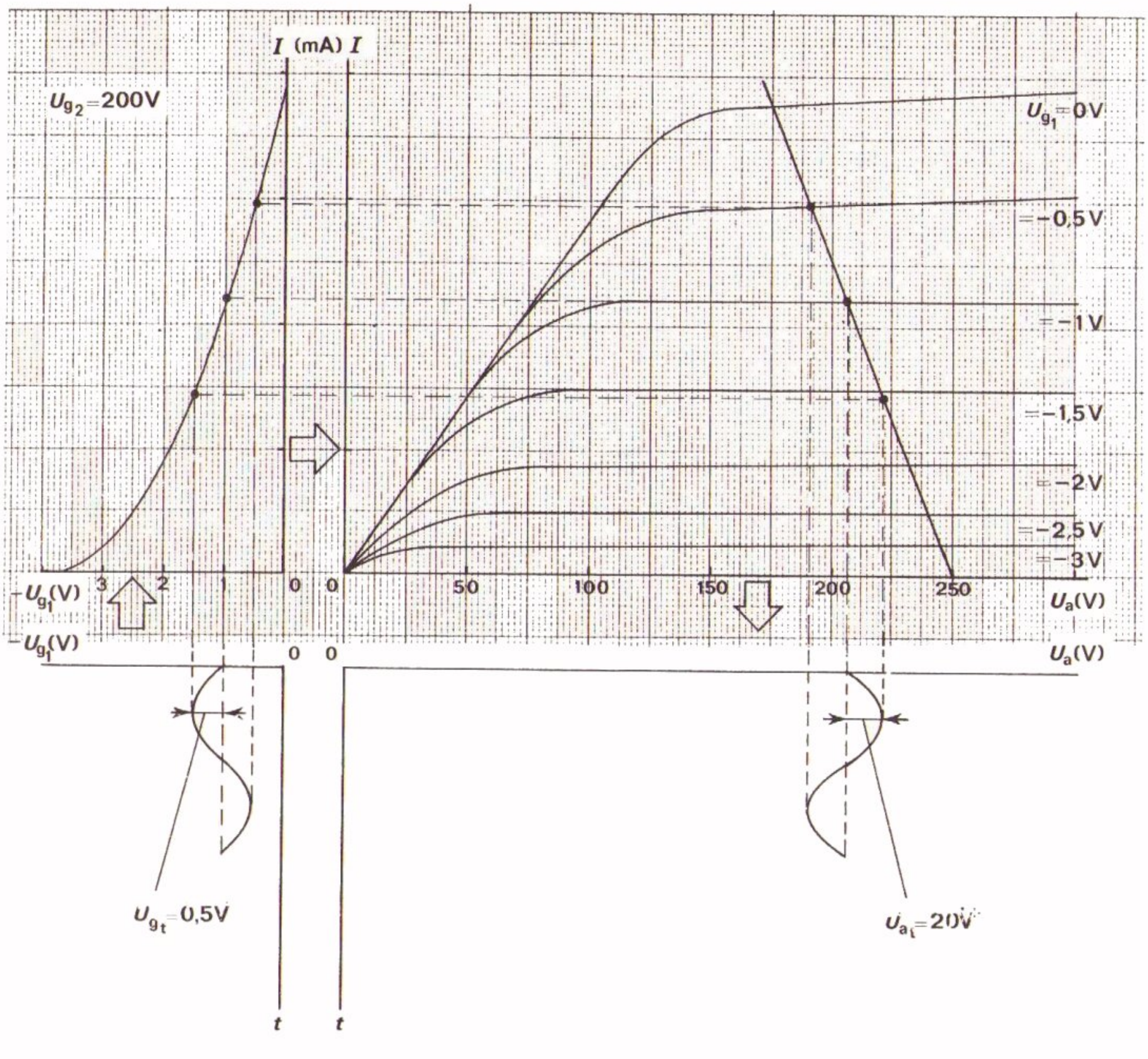
- De wisselspanningsversterking van de pentode wordt gegeven door de formule:

$$A_u = S.R_a$$

S = steilheid (A/V)

R_a = anodeweerstand (Ω)

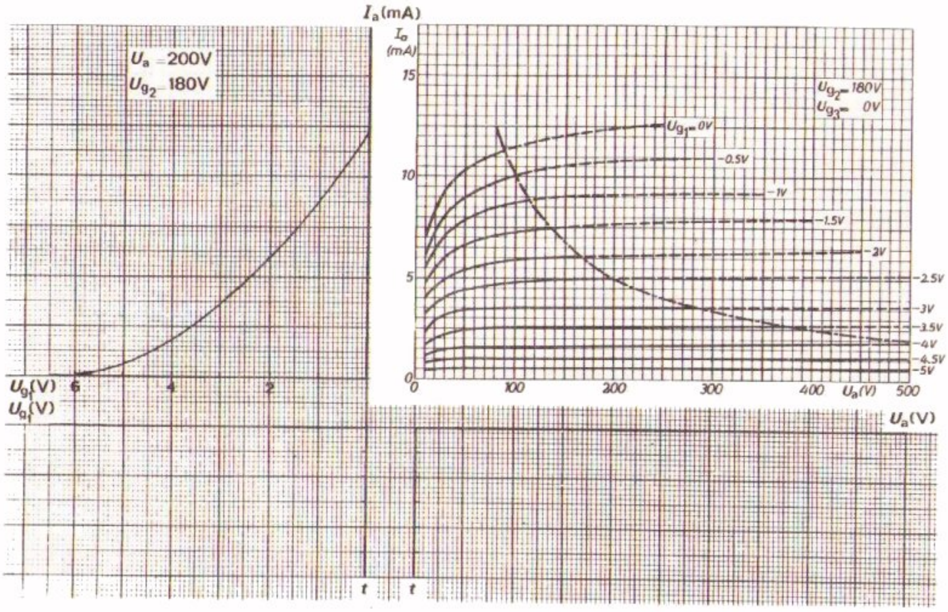
Aan de hand van de karakteristieken kan men nagaan hoe een stuurroosterwisselspanning verwerkt wordt tot een anodewisselspanning.



NAAM:

KLAS:

OEFENING



Hier zijn naast elkaar een overdrachtskarakteristiek en de bundel uitgangskarakteristieken van een pentode gegeven.

Bepaal nu:

- De steilheid tussen U_{g1} = -1 V en -3 V.

S =

- De belastinglijn voor U = 200 V en R_a = 16 kΩ.
- De instelling bij U_{g1} = -2 V en U_{g2} = 180 V.

I_{aW} = , U_{aW} =

- De wisselspanningversterking: A_u =

Als bij deze instelling een roosterwisselspanning U_{g1t} = 1 V wordt toegevoerd, hoe groot is dan U_{at}?

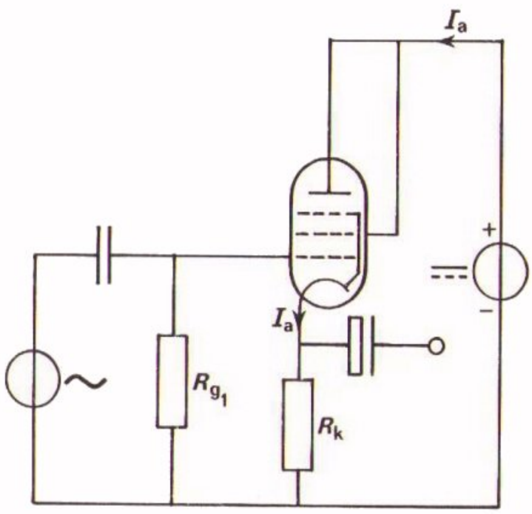
U_{at} =

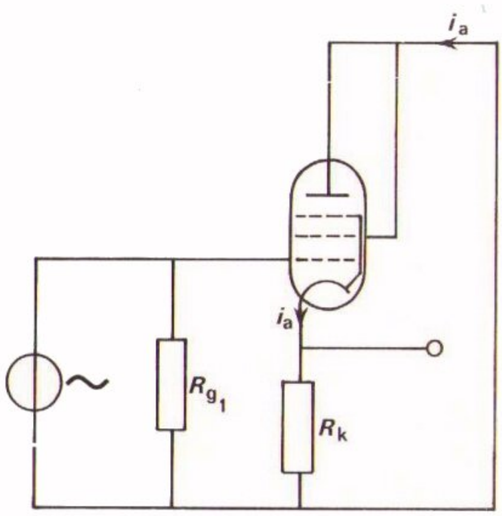
Construeer het verloop van U_a hierboven.

D E K A T H O D E V O L G E R

INLEIDING

In deze les bespreken we de *katodevolger*, ook wel *anodebasisschakeling* genoemd.
Hieronder ziet U het complete principeschema en het wisselstroomschema van de kathodevolger.

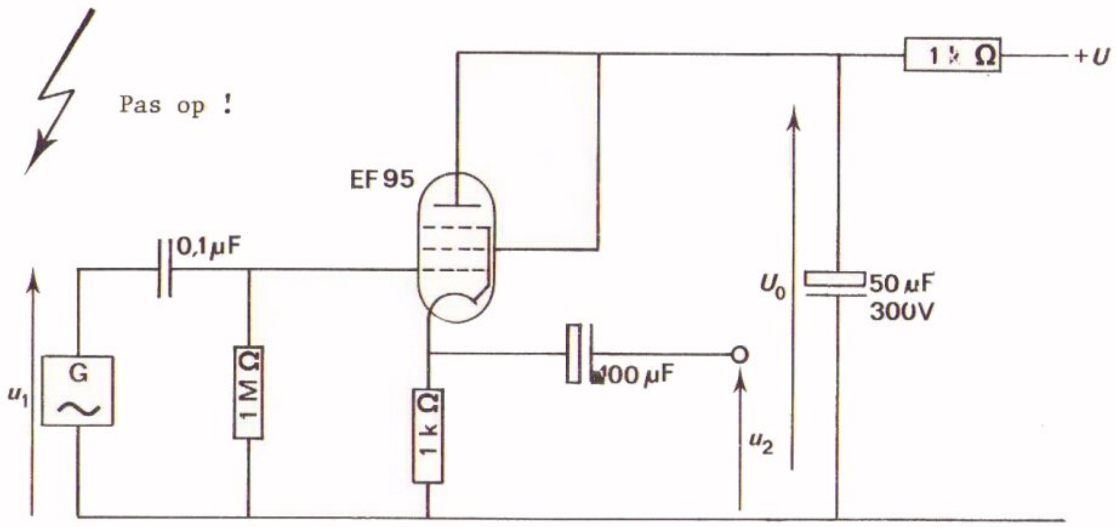




wisselstroomschema

In de anodeleiding is geen weerstand opgenomen. De uitgangsspanning wordt van een weerstand in de kathodeleiding afgenomen.
Deze schakeling heeft een aantal opvallende eigenschappen. In de volgende opdracht gaan we eerst iets van deze schakeling ervaren. Daarna gaan we hem nader toelichten.

OPDRACHT: METEN AAN DE KATHODEVOLGER



- Bouw deze schakeling.

- Stel U in op 150 V.

- Stel U_{1t} in op 0,4 V bij f = 1 kHz met een scoop.

- Meet de uitgangsspanning u_{2t}.

u_{2t} = [ ]

- Hoe groot is de wisselspanningsversterking?

A_u = [ ]

- Vergelijk met behulp van een scoop de fase van u_2 met die van u_1.

u_2 is in [fase / tegenfase] met u_1.

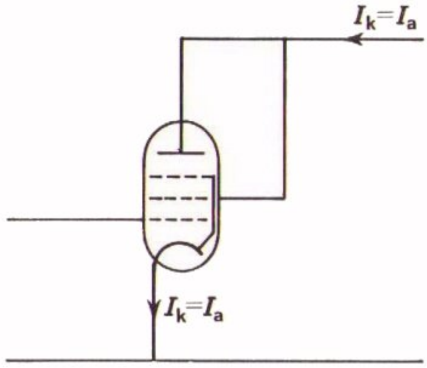
CONCLUSIES

- u_2 is [groter dan / gelijk aan / kleiner dan] u_1

- u_2 is in [fase / tegenfase] met u_1

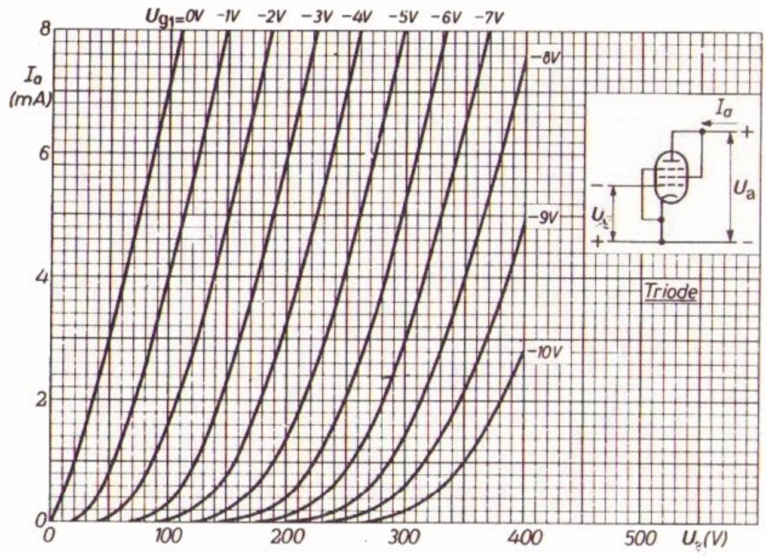
GEBRUIK VAN DE BUIS IN DE KATHODEVOLGER

Meestal gebruikt men in de kathodevolger een pentode die als triode is geschakeld. De anodestroom van de triode is gelijk aan kathodestroom van de pentode.

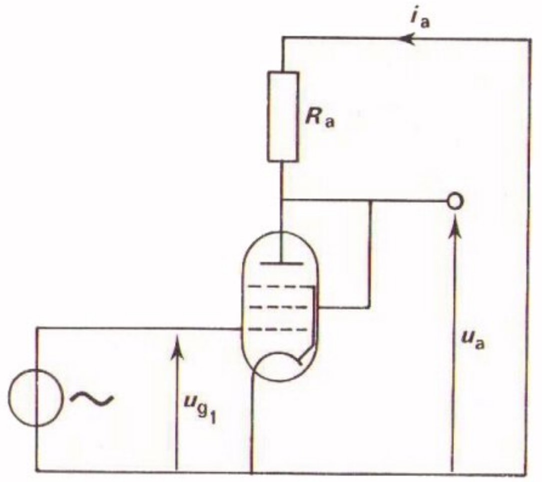


Eenvoudigheidshalve duidt men de kathodestroom dan aan als I_a.

De fabrikant geeft vaak speciaal de karakteristieken van zo'n als triode geschakelde pentode.
Zie voorbeeld hieronder.



Hier ziet U nog eens het wisselstroomschema van de schakeling met een pentode, zoals we die in het voorafgaande behandeld hebben.
We herhalen in het kort.
Onder de wisselspanningsversterking verstonden we het quotiënt van de uitgangs- en de ingangswisselspanning.



$$A_u = \frac{u_a}{u_{g1}}$$

Voor deze wisselspanningsversterking hebben we een formule afgeleid, namelijk:

$$\boxed{A_u = S.R_a}$$

S : steilheid van de buis
R_a : anodeweerstand.

Voor de uitgangswisselspanning kunnen we dus schrijven:

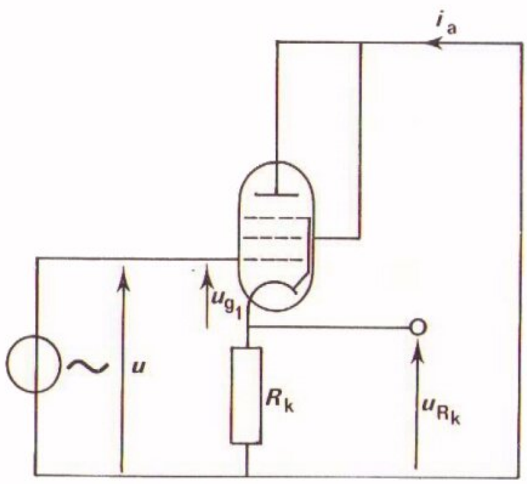
$$u_a = A_u \cdot u_{g1}$$

of $\quad u_a = S.R_a \cdot u_{g1}$

Bij de kathodevolger loopt de anodewisselstroom i_a door de kathodeweerstand R_k.

Dan is dus:

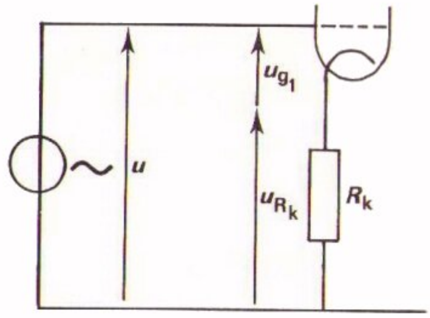
$$u_{Rk} = S.R_k.u_{g1}$$



Men kan zich de vraag stellen hoe groot de wisselspanningsversterking A_u van de kathodevolger is.

Dit is direct uit het schema af te lezen.

$$u = u_{g1} + u_{Rk}$$



$$A_u = \frac{u_{Rk}}{u} = \frac{u_{Rk}}{u_{g1} + u_{Rk}} = \frac{S.R_k.u_{g1}}{u_{g1} + S.R_k.u_{g1}}$$

of:

$$\boxed{A_u = \frac{SR_k}{1 + SR_k}}$$

Dit is dus de uitdrukking voor de wisselspanningsversterking van de kathodevolger.

S : steilheid van de buis

R_k : grootte van de kathodeweerstand

A_u is dus altijd kleiner dan 1.

Opmerking: De afleiding als boven gegeven is alleen geldig als u_g en u_{Rk} in fase of in tegenfase zijn. Is dit niet het geval, dan moet met de faseverschuiving rekening gehouden worden.

OEFENING

We hebben een formule voor de wisselspanningsversterking van de kathodevolger afgeleid:

$$A_u = \frac{SR_k}{1 + S.R_k}$$

Om wat te wennen aan deze formule volgt nu een oefening.

Hoe groter $S.R_k$, des te meer nadert A_u tot 1.

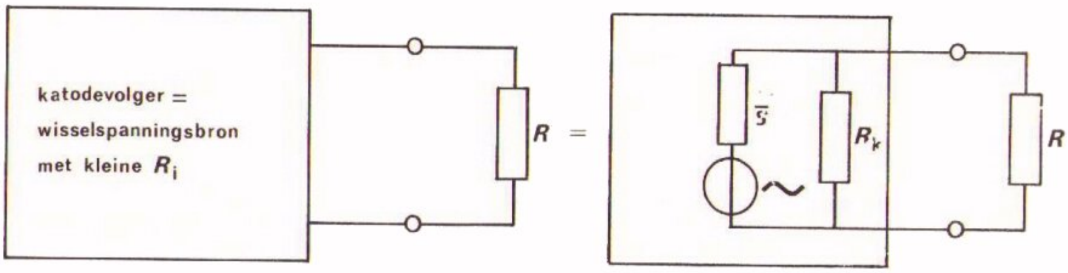
Ga dit na door voor SR_k achtereenvolgens in te vullen:

SR_k = 1 ,	A_u =		
= 2 ,	=		
= 5 ,	=		
= 10 ,	=		

De wisselstroomversterking blijft blijkbaar altijd kleiner dan 1.

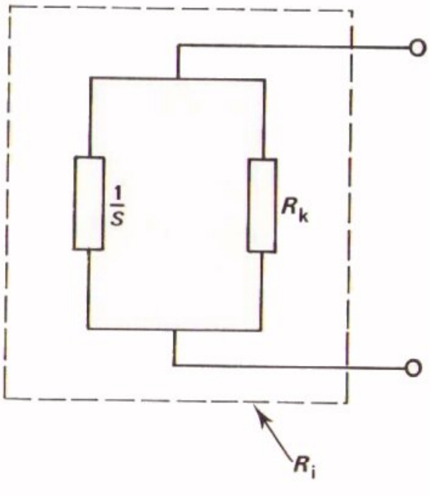
UITGANGSWEERSTAND

We hebben gezien dat de kathodevolger geen spanning versterkt, maar de spanning zelfs iets verzwakt; A_u is altijd kleiner dan 1.
Men kan zich afvragen: "Wat heb je dan aan zo'n schakeling?"
Het antwoord is, dat een kathodevolger vanuit de belasting gezien een kleine inwendige weerstand heeft.



Hij vormt voor een belasting R een wisselspanningsbron met een kleine inwendige weerstand R_i.

We zullen hier geen moeilijke berekeningen uit gaan voeren. We volstaan met de mededeling dat de inwendige weerstand van een kathodevolger bestaat uit de parallelschakeling van de kathodeweerstand R_k en een weerstand $1/S$.



De inwendige weerstand is dus:

$$R_i = \frac{1/S \cdot R_k}{1/S + R_k}$$

Voorbeeld:

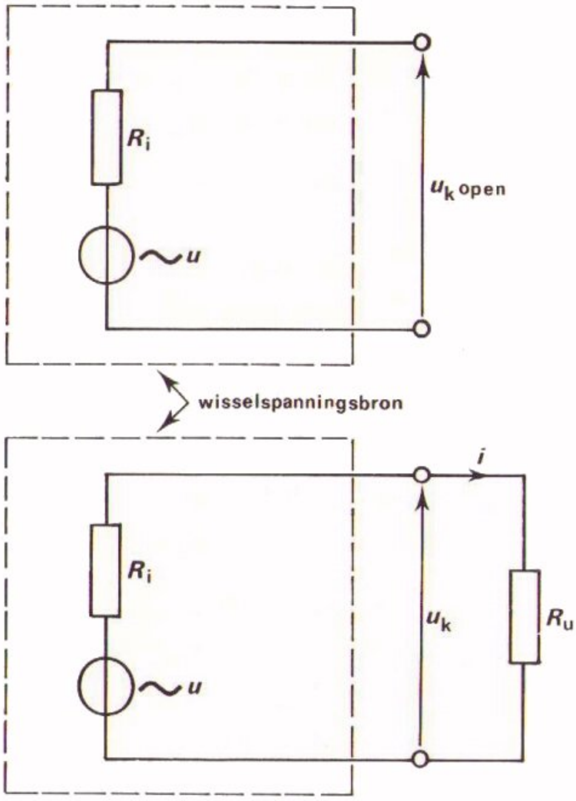
Stel S = 5 mA/V en R_k = 200Ω; dan

$$R_i = \frac{\frac{1}{5.10^{-3}} \cdot 200}{\frac{1}{5.10^{-3}} + 200}$$

$$= \frac{200 \cdot 200}{200 + 200} = 100\Omega$$

SPANNINGSBRON MET INWENDIGE WEERSTAND

Alvorens verder te gaan met de kathodevolger herhalen we in het kort wat we in het A-deel van de cursus geleerd hebben over een spanningsbron.



Een spanningsbron heeft een inwendige weerstand R_i.
Een wisselspanningsbron kunnen we als volgt voorstellen: We vatten zo'n bron op als een ideale generator met e.m.k. gelijk aan u, en daarmee een inwendige weerstand R_i in serie.
Belasten we deze bron niet, dan meten we tussen de klemmen de open klemspanning $u_{k\ open} = u$.
Belasten we de spanningsbron met een uitwendige weerstand R_u, dan gaat er een stroom i lopen.

Deze veroorzaakt een spanningsverlies R_i over de inwendige weerstand.
De klemspanning daalt en wordt: $u_k = u - R_i.i$, Hierin geldt: $u_k = R_u.i$

Belasten we deze bron nu zó, dat de klemspanning daalt tot de helft van de e.m.k., dan geldt $R_u = R_i$. De ene helft van de e.m.k. staat immers over R_i en de andere helft over R_u.

In het kort: Als $u_k = \frac{1}{2}u$, dan $R_u = R_i$.

Dit is één van de methoden om R_i te meten.
Het recept is dus het volgende:

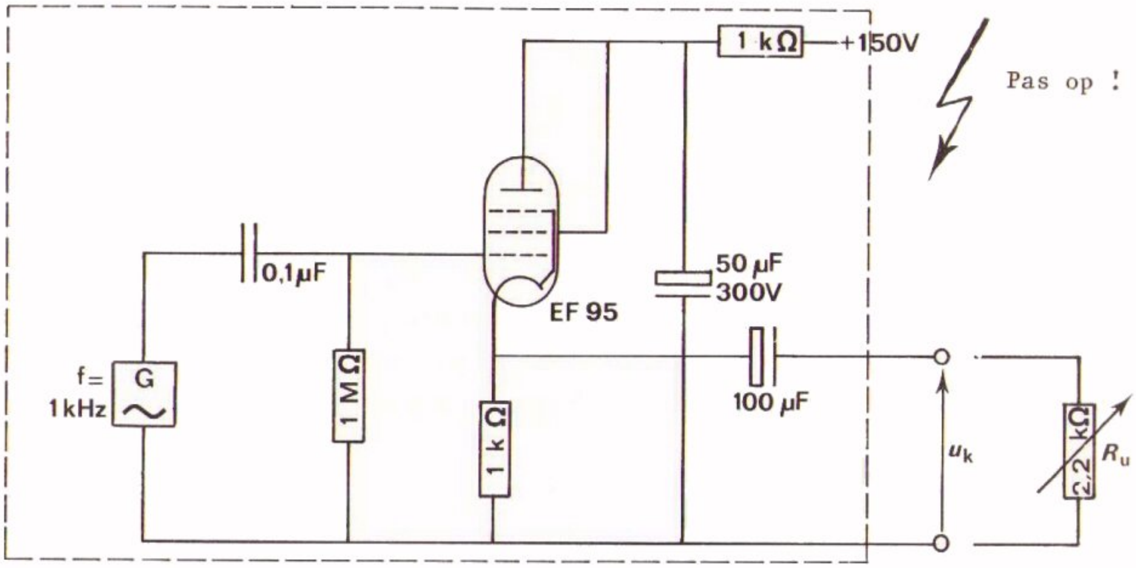
- Meet de openklemspanning $u_{k\ open} = u$.

- Belast de bron zo sterk, dat de klemspanning daalt tot op de helft van de openklemspanning; $u_k = \frac{1}{2}u$.

- Meet de losgenomen R_u met een ohmmeter; deze is gelijk aan R_i. R_i is dus bekend.

OPDRACHT: METING VAN R_i VAN DE KATHODEVOLGER

De op het vorige blad besproken "truc" gaan we nu toepassen bij de meting van de inwendige weerstand van de kathodevolger.



- Bouw deze schakeling op Uw paneel.
  De schakeling binnen de streeplijn beschouwen we als een wisselspanningsbron. Deze schakeling gaan we belasten met de variabele uitwendige weerstand R_u.

- Stel eerst de openklemspanning u_k van de schakeling met behulp van de scoop in op 0,4 V.

- Breng nu de belasting R_u aan.
  Varieer R_u zó, dat de klemspanning tot de helft daalt.

- Neem R_u los en meet zijn waarde met een ohmmeter.

$R_u = R_i =$ [ ]

CONCLUSIE

R_i is veel lager dan R_k = 1 kΩ, ten gevolge van de parallel geschakelde denkbeeldige weerstand $1/S$.

VERGROTING VAN DE WISSELSPANNINGSVERSTERKING

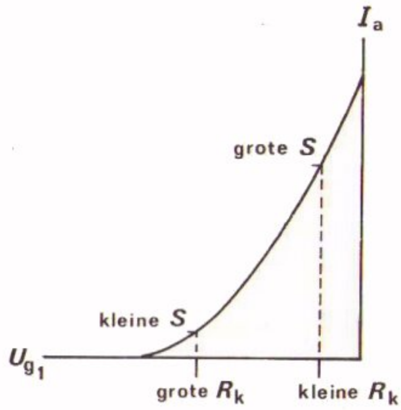
In de eerste opdracht van deze les hebt U de wisselspanningsversterking gemeten. Deze bleek kleiner te zijn dan 1.
Op blad B314.5 hebben we een formule gevonden voor de wisselspanningsversterker:

$$A_u = \frac{SR_k}{1 + SR_k}$$

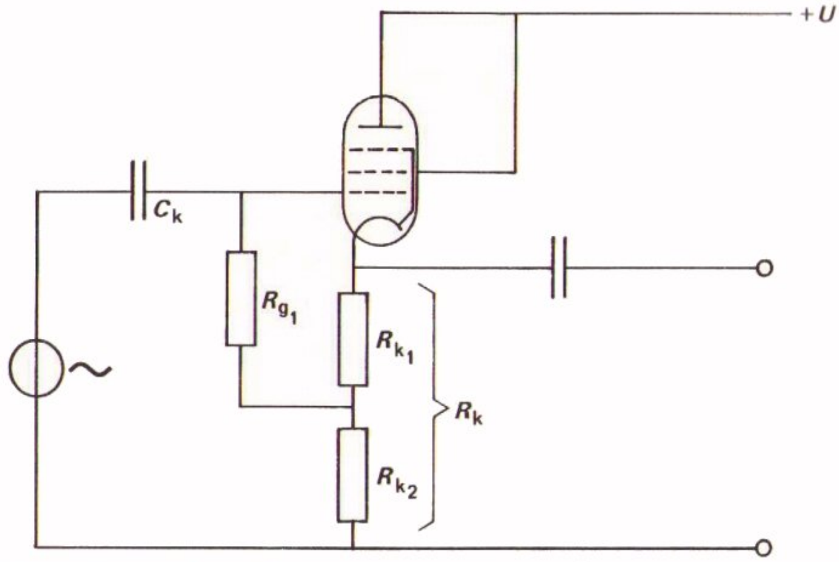
A_u komt steeds dichter bij 1 naarmate we SR_k groter maken.
Men kan nu R_k flink groot maken om $A_u \simeq 1$ te bereiken. Dit heeft echter een paar belangrijke nadelen. Als we R_k groter maken, dan wordt de buis meer negatief ingesteld en dit betekent dat S kleiner wordt. In deze overdrachtskarakteristiek is dit goed te zien.
Bij vergroting van R_k wordt S dus kleiner. Daardoor wordt de uitgangsweerstand

$$\frac{\frac{1}{S} \cdot R_k}{\frac{1}{S} + R_k}$$

aanzienlijk groter en dit is het eerste nadeel. Een tweede nadeel is dat de buis bij een grotere R_k op een kleinere gelijkstroom is ingesteld en dus veel minder wisselstroom kan leveren.
Vergroting van R_k zonder meer is daarom geen oplossing.
Toch heeft men er iets op bedacht:
zie het schema op volgend blad.



KATHODEVOLGER MET GESPLETEN KATHODEWEERSTAND



Wat is hier gebeurd?

De kathodeweerstand is hier gesplitst in twee weerstanden R_{k1} en R_{k2}. Men spreekt van een "gespleten" kathodeweerstand.

Het bovenste deel van de kathodeweerstand R_{k1} zorgt voor de instelling middenin de roosterruimte.

Het stuurrooster ligt namelijk via R_{g1} op een bepaalde gelijkspanning en de kathode op een iets hogere gelijkspanning.

Voorbeeld:

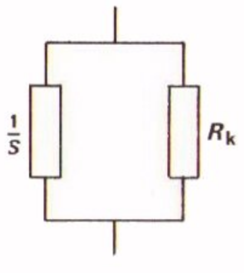
> Stel R_{k1} = 100Ω, en R_{k2} = 1000Ω en de stroom I_k = 20 mA.
> De kathode ligt dan op 22 V en het stuurrooster op 20 V.
> Tussen rooster en kathode staat dus -2 V.

De buis staat op deze manier goed midden in de roosterruimte op een grote gelijkstroom ingesteld en kan een grote wisselstroom afgeven. Verder is S groot, zodat de uitgangsweerstand klein is. Bovendien is de weerstand $R_k = R_{k1} + R_{k2}$ groot.

Het product $S.R_k$ is dus groot, zodat:

$$\boxed{A_u \simeq 1}$$

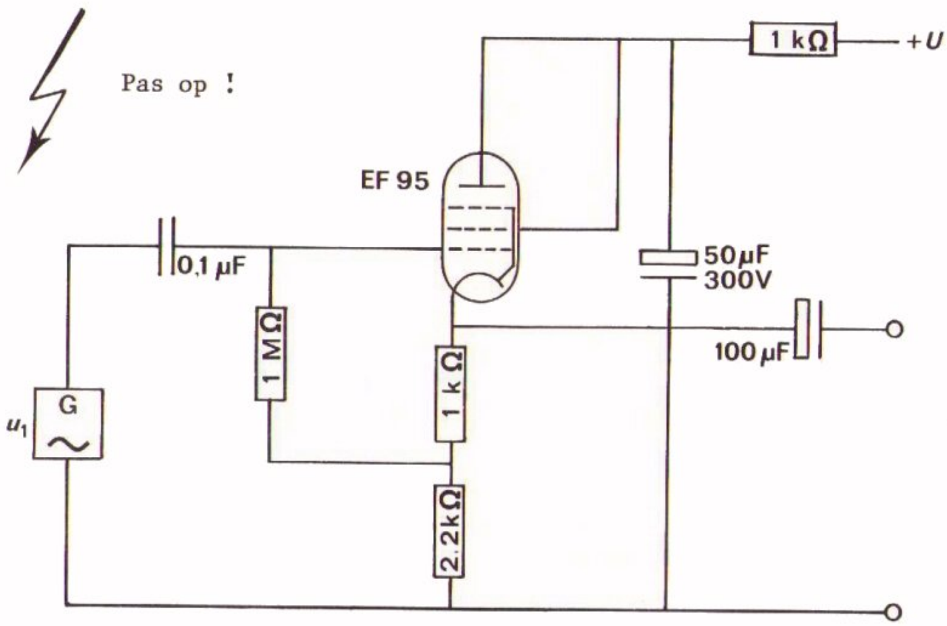
Op blad B314.6 hebben we gesteld dat de inwendige weerstand van een kathodevolger op te vatten is als de parallelschakeling van R_k en $1/S$.



Nu we R_k zo groot gemaakt hebben dat hij in de praktijk veel groter is dan $1/S$ kunnen we stellen:

$$\boxed{R_i \simeq 1/S}$$

OPDRACHT: METING AAN EEN PRAKTISCHE KATHODEVOLGER



- Bouw deze kathodevolger met gespleten kathodeweerstand.

- Stel U in op 150 V en maak U_{1t} = 0,4 V bij f = 1 kHz.

- Meet de wisselspanningsversterking met behulp van een voltmeter.

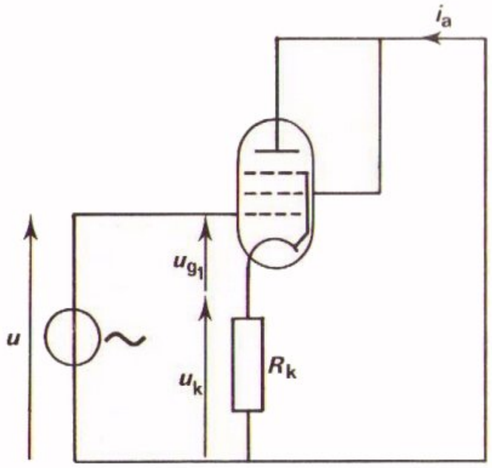
A_u =

- Bepaal ook de inwendige weerstand van de schakeling op dezelfde manier als bij de vorige opdracht.

R_i =

VERKLARING VAN DE NAAM "KATHODEVOLGER"

In deze les is de naam kathodevolger genoemd.
Waar komt deze naam vandaan?



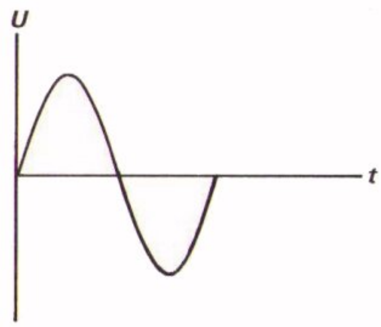
Hier ziet U nogmaals het wisselstroomschema van de kathodevolger.
We hebben gezien dat bij een goede kathodevolger:

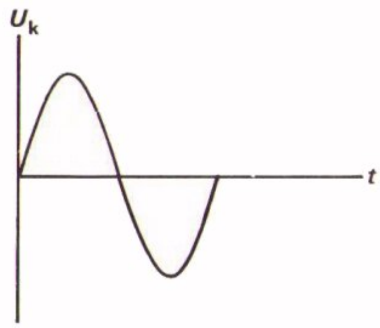
$$A_u = \frac{u_k}{u} \simeq 1$$

Dat betekent dat:

$$u_k \simeq u$$

De grootte van de wisselspanning op de kathode is dus nagenoeg gelijk aan de wisselspanning die op het stuurrooster wordt toegevoerd.
Bovendien hebben we bij de eerste opdracht in deze les gezien, dat u_k en u in fase zijn.
De kathodewisselspanning "volgt" de ingangswisselspanning dus op de voet.



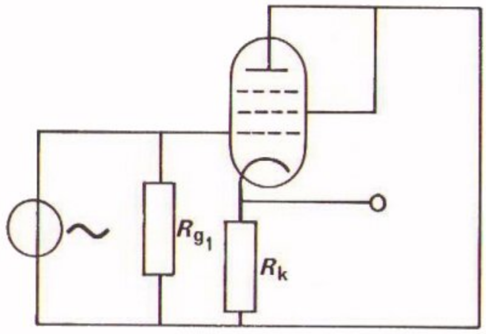


ENKELE OPMERKINGEN

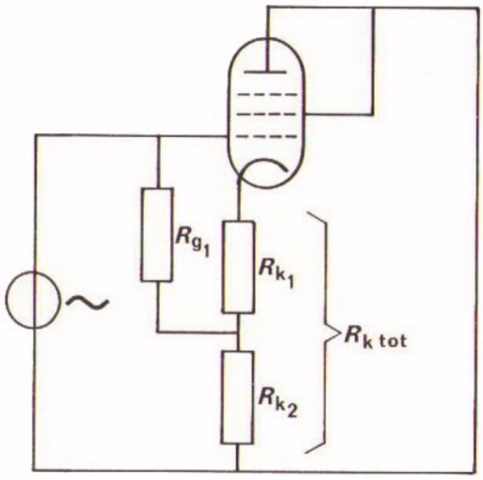
Tot nu toe hebben we het in de formules

$$A_u = \frac{SR_k}{1 + SR_k} \quad \text{en} \quad R_i = \frac{1/S \cdot R_k}{1/S + R_k}$$

steeds over de (statische) steilheid S gehad. In feite hebben we echter met een TRIODE te doen gehad, waarbij men eigenlijk met de DYNAMISCHE steilheid S_d heeft te doen.

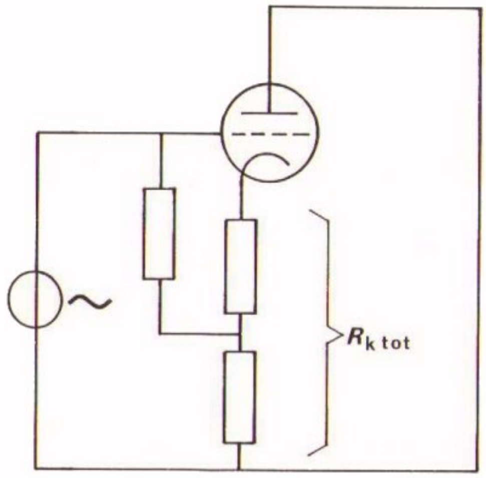


Bij nevenstaande schakeling is R_k echter nogal klein, waardoor praktisch wel geldt $S_d \simeq S$.
Dan zijn bovenvermelde formules bij benadering wel juist.



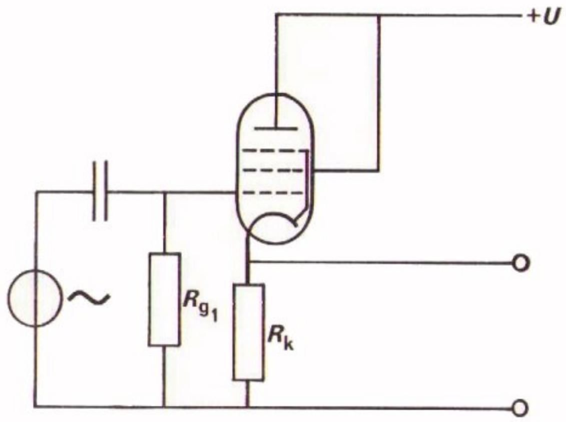
Bij de schakeling met gespleten R_k kan $R_{k\,tot}$ echter nogal groot zijn en is S_d wel degelijk kleiner dan S.
Dan geldt dus:

$$A_u = \frac{S_d \cdot R_{k\,tot}}{1 + S_d R_{k\,tot}} \quad \text{en} \quad R_i = \frac{1/S_d \cdot R_{k\,tot}}{1/S_d + R_{k\,tot}}$$



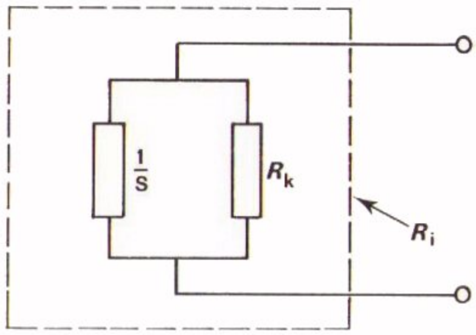
Hetzelfde geldt natuurlijk voor een kathodevolger met een echte triode. Als de kathodeweerstand zo groot is dat niet $S_d \simeq S$ gesteld mag worden, moet met S_d gerekend worden.

SAMENVATTING



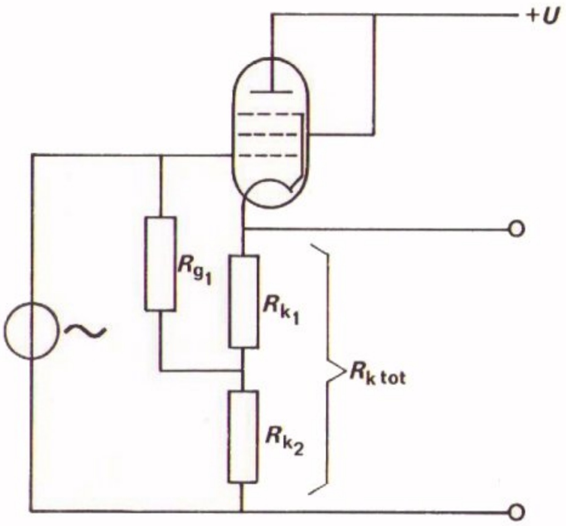
Dit is het eenvoudigste schema van de pentode als kathodevolger, waarin de buis als triode is geschakeld.

De wisselspanningsversterking is bij deze schakeling kleiner dan 1.



De kathodevolger heeft een lage uitgangsweerstand.
R_i bestaat uit de parallelschakeling van R_k met $\frac{1}{S}$:

$$R_i = \frac{\frac{1}{S} \cdot R_k}{\frac{1}{S} + R_k}$$



In de praktische kathodevolger bestaat R_k vaak uit twee weerstanden. Een kleine R_{k1} dient voor de gelijkstroominstelling. Een grote R_{k2} zorgt voor een grote totale kathodeweerstand, waardoor de versterking nagenoeg gelijk aan 1 wordt.
Voor deze schakeling geldt:

$$R_i \simeq \frac{1}{S_d}$$

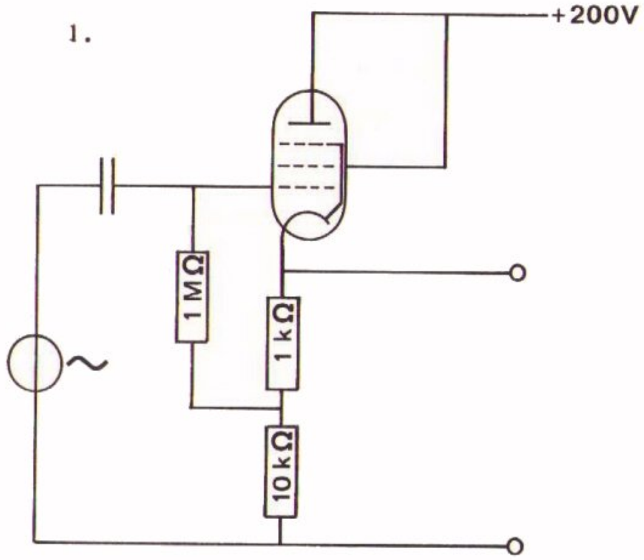
$$A_u \simeq 1$$

NAAM:

KLAS:

OEFENINGEN

1.



De buis in deze schakeling heeft bij de gebruikte instelling een statische steilheid S = 8 mA/V en een dynamische steilheid S_d = 5 mA/V.

Hoe groot is de uitgangsweerstand?

R_i =

Hoe groot is de wisselspanningsversterking?

A_u =

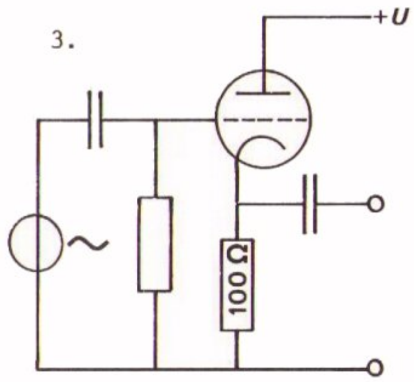
2. In bovenstaande schakeling wordt R = 10 kΩ kortgesloten.
   Hoe groot is nu R_i?

R_i =

Hoe groot is nu A_u?

A_u =

3.



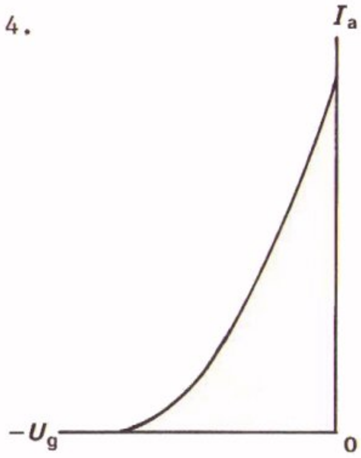
Hier is een triode als kathodevolger geschakeld.

De buis heeft een statische steilheid S = 8 mA/V. De kathodeweerstand is 100 Ω.

Hoe groot is de versterking maximaal?

$A_{u\ max}$ =

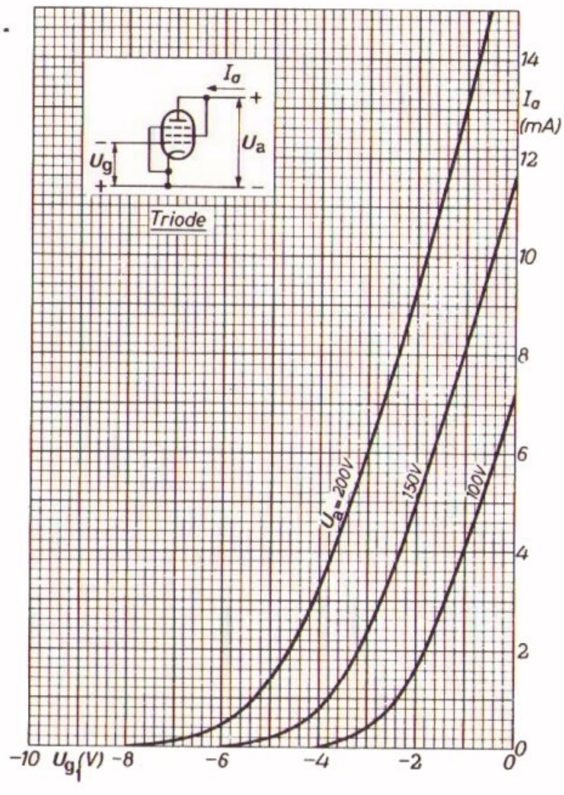
4.



Wat verwacht U van de invloed van R_k op de dynamische karakteristiek in het voorgaande vraagstuk?

heeft nooit invloed.	O
mag in dit geval verwaarloosd worden.	O
invloed is klein maar niet verwaarloosbaar.	O
invloed is groot, er moet terdege rekening mee worden gehouden.	O

5.



Dit is de karakteristiekenbundel van een pentode die als triode wordt gebruikt.

Bepaal bij U_a = 200 V en U_g = -1,8 V.

R_k, A_u als kathodevolger en R_i van de kathodevolger.

R_k = [ ]

U_{gt} ≃ 1 V

A_u = [ ]

R_i = [ ]

B 315

INSTELLING EN CONTROLE VAN EEN VERSTERKERTRAP

INLEIDING

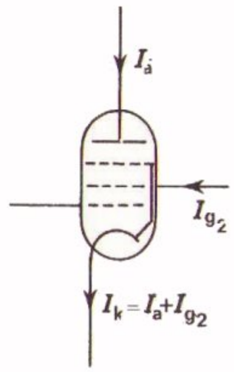
In deze les wordt nader ingegaan op de instelling van triodes en pentodes. Met name de bepaling van de automatisch negatieve roosterspanning wordt uitvoerig besproken. De tweede helft van de les heeft een duidelijk praktisch karakter.

DE I_k - U_{g1} - KARAKTERISTIEK

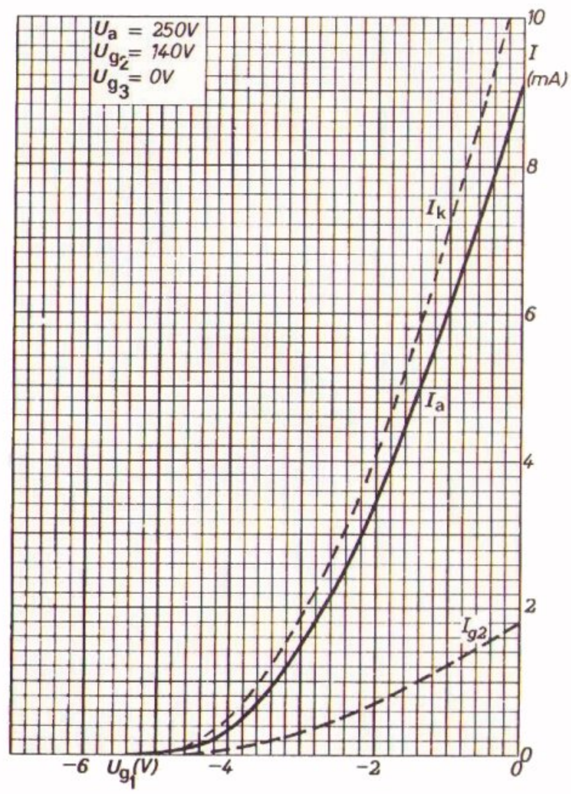
In het voorafgaande hebben we bij de pentode herhaaldelijk gebruik gemaakt van de I_a - U_{g1} - of overdrachtskarakteristiek.

Door de pentode loopt echter niet alleen I_a, maar ook I_{g2}, waarbij: $I_a + I_{g2} = I_k$.

Voor de instelspanning U_{g1} van de buis is niet I_a of I_{g2} van belang, maar I_k.



Om deze instelspanning te bekijken, moet men beschikken over de I_k - U_{g1} - karakteristiek.
Nu geeft de fabrikant de I_a - U_{g1} - en de I_{g2} - U_{g1} - karakteristiek. Door deze "verticaal op te tellen" ontstaat de I_k-U_{g1}-karakteristiek.
In volgende figuur is dit gedaan.



Voorbeeld.

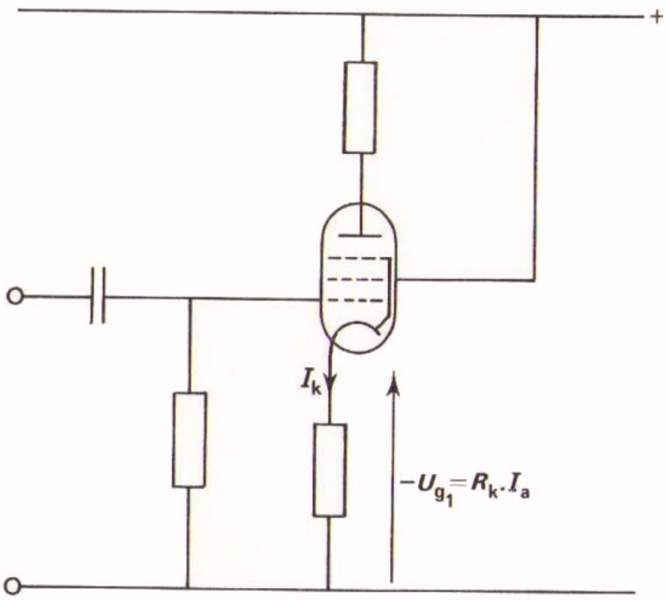
In de figuur lezen we bij U_{g1} = -2 V af:

I_{g2} = 0,7 mA

I_a = 3,4 mA

I_k is dus $I_{g2} + I_a$ = 0,7 + 3,4 = 4,1 mA.
Ga dit na.

BEPALING VAN DE INSTELSTROOM I_k VAN DE PENTODE ALS R_k BEKEND IS



Hier is een schakeling gegeven met een pentode.
In de praktijk komt het voor dat zo'n schakeling niet goed werkt. Men moet dan nagaan waar dat aan ligt. Een eerste controle is dan de grootte van I_k te meten en na te gaan of deze ongeveer klopt met wat te verwachten is.
Dit nu is te doen met behulp van de I_k - U_{g1} - karakteristiek.

Op het volgend blad is zo'n karakteristiek getekend bij de gegeven U_{g2} - waarde. Leg dit blad ernaast. In deze grafiek gaan we nu ook een lijn tekenen die weergeeft hoe groot $R_k . I_k = - U_{g1}$ is bij diverse waarden van I_k.
In de gegeven voorbeelden is de lijn getekend voor $R_k = 400\Omega$.

Als $I_k = 0$, dan $-U_{g1} = R_k . I_k = 0$

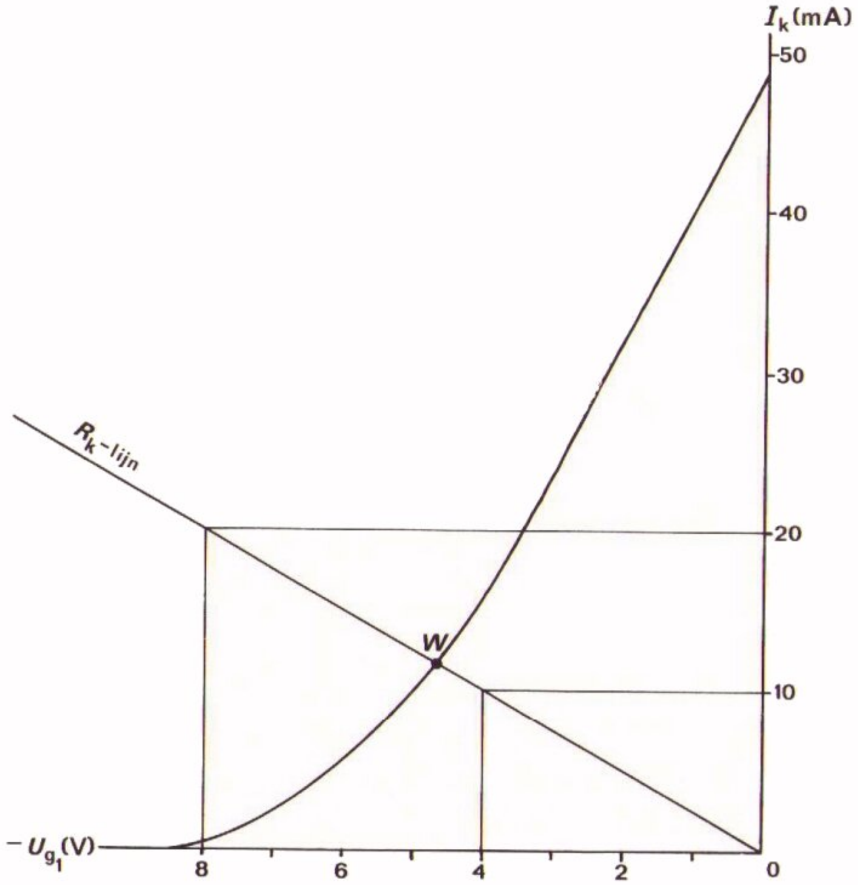
Als $I_k = 10$ mA, dan $-U_{g1} = 400.10^{-2} = 4$ V

Als $I_k = 20$ mA, dan $-U_{g1} = 400.2.10^{-2} = 8$ V

enz.

De zogenaamde R_k - lijn is niets anders dan een weerstandskarakteristiek; een rechte lijn dus door de oorsprong.

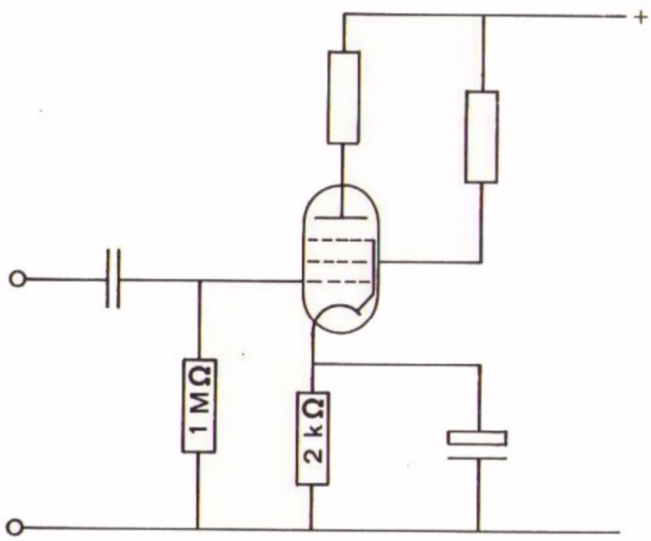
De R_k - lijn en de I_k - U_{g1} - karakteristiek snijden elkaar in het punt W, het INSTELPUNT. In dit punt is de buisstroom gelijk aan de stroom door de weerstand en de buisspanning $-U_{g1}$ gelijk aan de spanning over de kathodeweerstand $R_k . I_k$.



In dit voorbeeld geldt in punt W: $I_k \simeq 12$ mA en $-U_{g1} \simeq 4{,}8$ V.

Is R_k gelijk aan 400Ω en meten we een I_k die sterk van 12 mA afwijkt, dan weten we dat er iets mis is.

OEFENING



In deze schakeling meet men U_a = 250 V en U_{g2} = 140 V.

Bij de gebruikte pentode geldt de karakteristiek van blad B315.2.
Bepaal nu:

I_k =

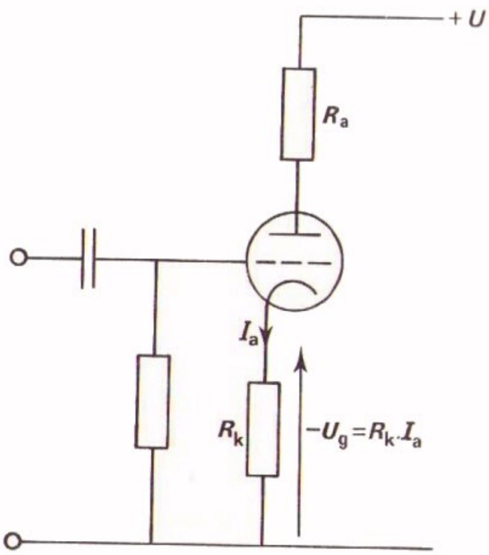
U_{g1} =

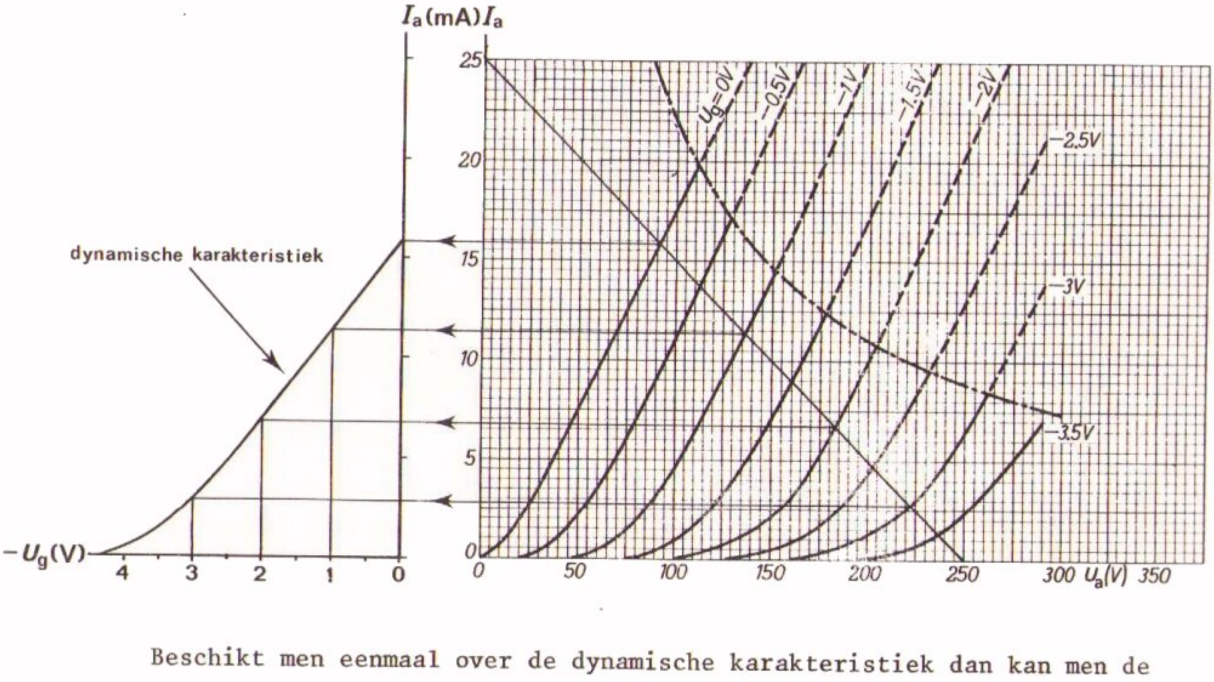
I_a =

I_{g2} =

BEPALING VAN DE INSTELSTROOM BIJ EEN TRIODE

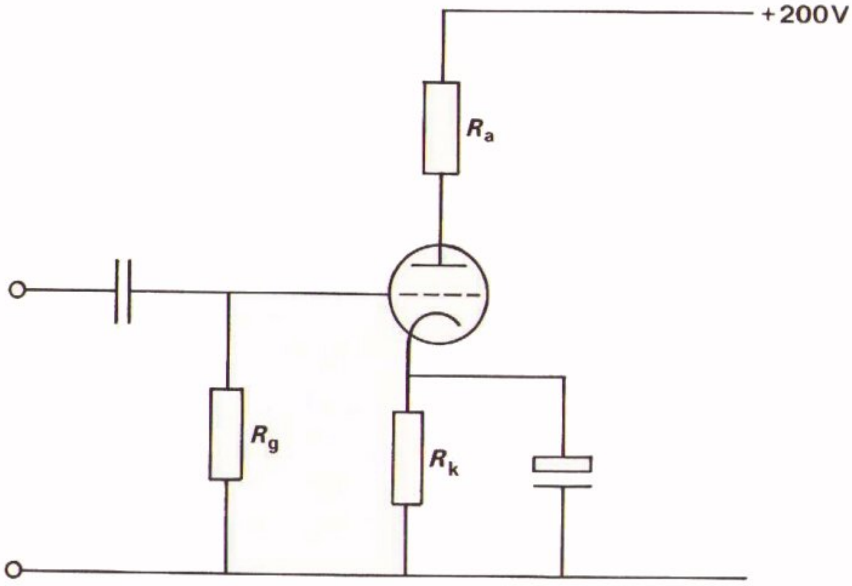
Bij een triode kan men bij gegeven R_k de instelstroom op dezelfde manier bepalen als in het voorafgaande bij een pentode.
In dit geval $I_k = I_a$, zodat dit een vereenvoudiging met zich meebrengt.
Een moeilijkheid is echter dat van een triode doorgaans alleen de statische $I_a - U_g$ - karakteristiek gegeven is, terwijl men de dynamische nodig heeft.
Men moet dus eerst de dynamische karakteristiek construeren uit de uitgangskarakteristieken en de belastinglijn.
Hieronder is dit nogmaals gedaan, zoals we dit al eerder deden.



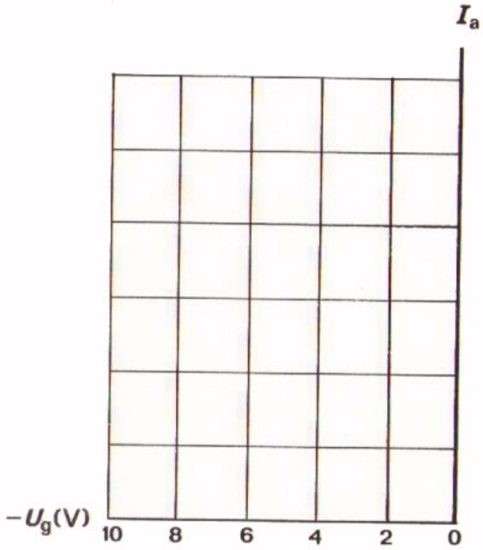


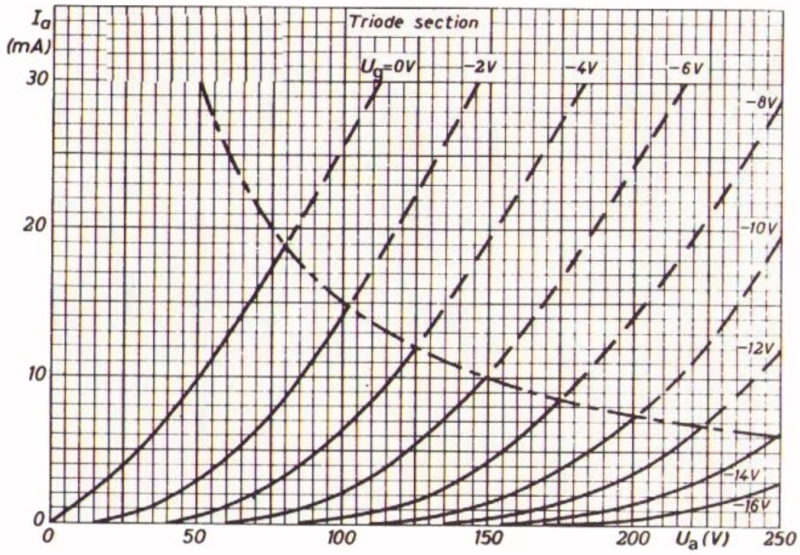
Beschikt men eenmaal over de dynamische karakteristiek dan kan men de instelling vinden door middel van de R_k - lijn.

OEFENING



In deze schakeling: R_a = 8 kΩ en R_k = 200Ω.
Construeer hieronder de dynamische I_a - U_g - karakteristiek voor dit geval.





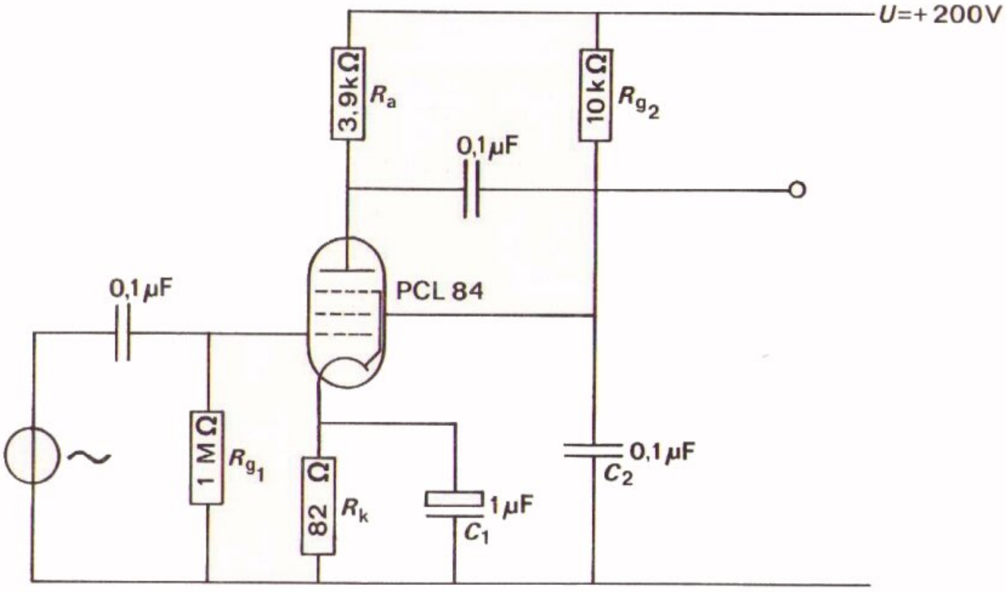
Teken de R_k - lijn en bepaal I_a en U_g.

I_a =

U_g =

METING AAN EEN SCHAKELING MET EEN BUIS

Gegeven is volgende schakeling.



In de praktijk zult U zich vaak de vraag moeten stellen:
"Is deze buisschakeling in orde?"
U zult deze vraag moeten beantwoorden aan de hand van metingen met een universeelmeter en een scoop, terwijl U verder nog een buizenboek ter beschikking hebt.

We voeren de controle in twee delen uit:

- Controle van de gelijkstroominstelling.
- Controle van de wisselspanningen.

Alleen bij een juiste instelling kan de schakeling goed functioneren. Pas als die goed is, heeft het zin te kijken naar wisselspanningen.

Aan de hand van volgende vragen gaan we nu stap voor stap na of de schakeling goed werkt.

Vraag Met wat voor soort buis heb ik te doen?

Met een pentode.

Vraag Met welk type buis heb ik hier te maken?

Met het pentode-deel van een PCL 84.

Vraag Welke karakteristieken zijn beschikbaar? Welke gegevens?

Deze vindt men in het buizenboek.
In dit geval zijn zij gegeven op de bladen B315.10 en 11.
Bekijk deze gegevens.

Vraag Is de juiste gloeidraadvoeding aanwezig?

Een eerste controle kan men uitvoeren door na te gaan of de buis warm wordt of door te kijken of de gloeidraad gloeit.
Als dit niet het geval is dan moet men de gloeidraad controleren met een ohmmeter: is de draad onderbroken?

Vraag Is de juiste voedingsspanning aanwezig?

Controleer met een universeelmeter of de in het schema aangegeven 200 V voedingsspanning inderdaad aanwezig is.

Vraag Trekt de buis stroom?

Controleer met een universeelmeter of er spanning over R_k staat.

Vraag Trekt de buis zowel anodestroom als schermroosterstroom?

Controleer met een universeelmeter of de anodespanning en de schermroosterspanning lager zijn dan de voedingsspanning.

Na deze globale controle kan men de instelling wat nauwkeuriger gaan bekijken aan de hand van volgende vragen.

Vraag Is de buis goed ingesteld?

Meet de schermroosterspanning U_{g2}.

Trek de R_k-lijn in de overdrachtskarakteristiekenbundel op blad B315.11.
Bepaal de te verwachten I_k en I_a, de te verwachten U_{g1} en U_a.
Meet nu U_{g1} en U_a.

Doen deze U_{g1} en U_a verwachten dat de buis redelijk zal werken?

Na deze controle van de instellingen moeten we de wisselspanningen nog controleren.

Vraag Hoe is de buis geschakeld?

Als versterker.

Vraag Komt de versterking overeen met wat te verwachten is?

Verwachting: $A_u = S.R_a$.
Bij $U_{g1} = -2$ V en $U_{g2} = 170$ V kunnen we de steilheid uit de overdrachtskarakteristiek bepalen.
Dan blijkt $S \simeq 6$ mA/V, zodat:

$$A_u = 6 \times 3,9 \simeq 24$$

Meet de wisselspanningsversterking met een scoop bij een niet te groot signaal, bijv. bij $U_{g1t} = 200$ mV.
Vinden we een waarde die veel lager is, dan is de frequentie van het toegevoerde signaal te laag óf een van de ontkoppelcondensatoren is defect.

Vraag Geldt voor een hogere frequentie de versterking wel?
Is dit niet het geval, meet dan of door het losnemen van elk van de ontkoppelcondensatoren de versterking afneemt.
Is dit niet het geval, dan is de betreffende condensator defect.

TRIODE-OUTPUT PENTODE

Triode-pentode with separate cathodes.
Triode section intended for use in circuits for keyed A.G.C., sync. separation, sync. amplification and noise suppression.
Pentode section is intended for use as video output tube.

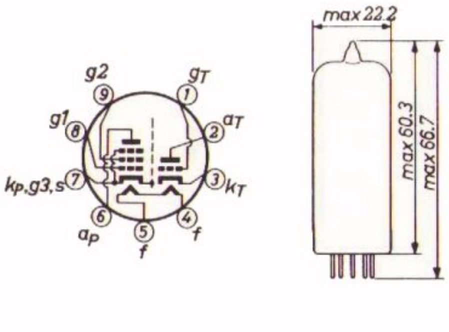
QUICK REFERENCE DATA			
Triode section			
Anode current	I_a	3	mA
Transconductance	S	4	mA/V
Amplification factor	μ	65	-
Pentode section			
Anode current	I_a	18	mA
Transconductance	S	11	mA/V
Amplification factor	$\mu_{g_2g_1}$	36	-

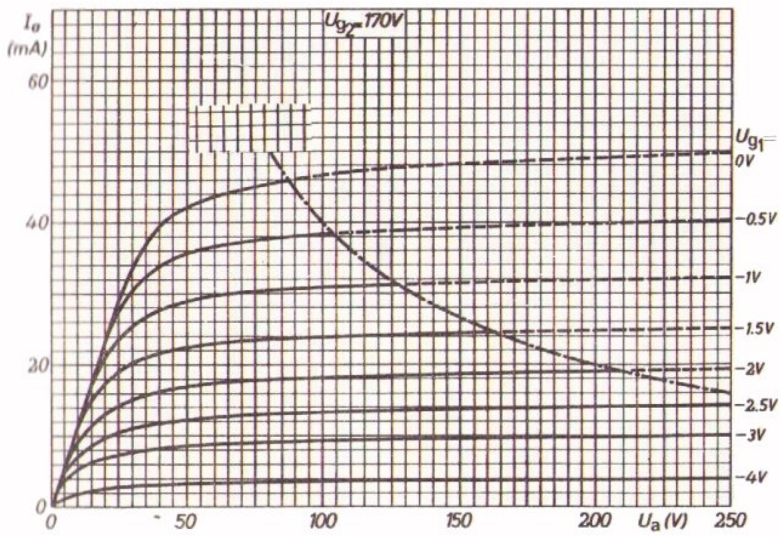
HEATING: Indirect by A.C. or D.C.; series supply

Heater current	I_f	300	mA
Heater voltage	U_f	15	V

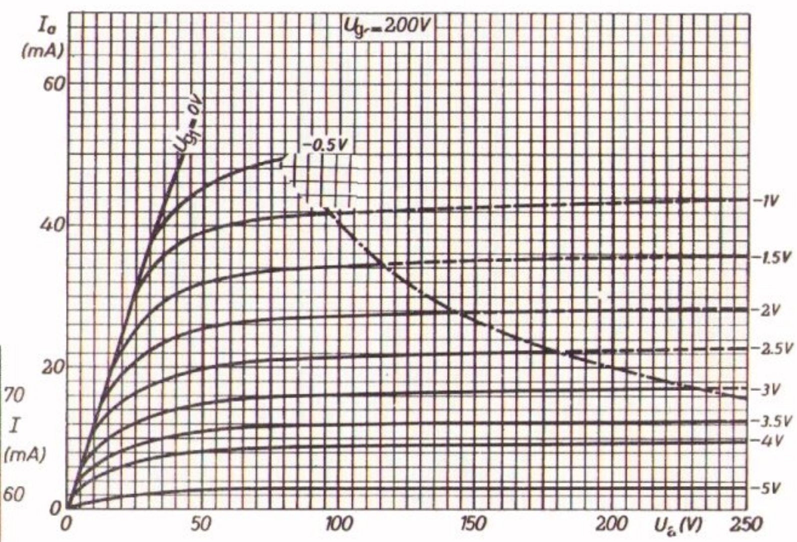
DIMENSIONS AND CONNECTIONS Dimensions in mm

Base: Noval

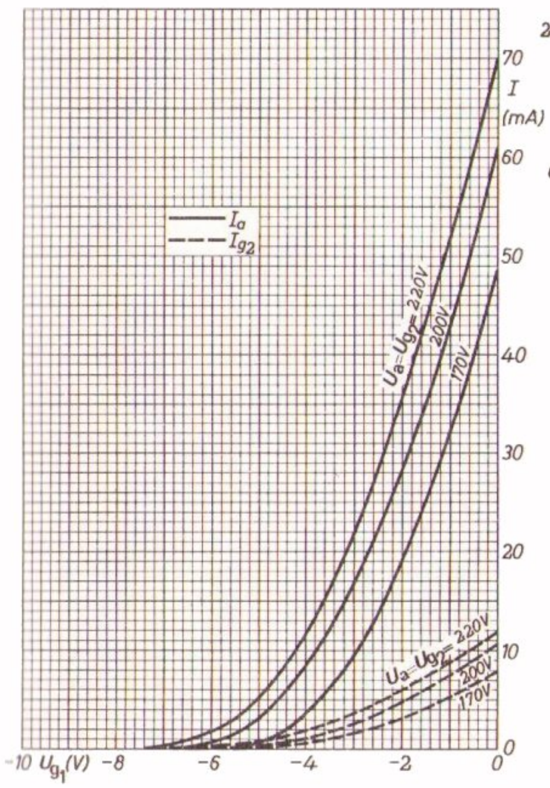




I_a (mA)
U_{g2}=170V
U_{g1}= 0V
-0.5V
-1V
-1.5V
-2V
-2.5V
-3V
-4V
0
20
40
60
50
100
150
200
250
U_a (V)



I_a (mA)
U_{g2}=200V
U_{g1}=0V
-0.5V
-1V
-1.5V
-2V
-2.5V
-3V
-3.5V
-4V
-5V
0
20
40
60
50
100
150
200
250
U_a (V)

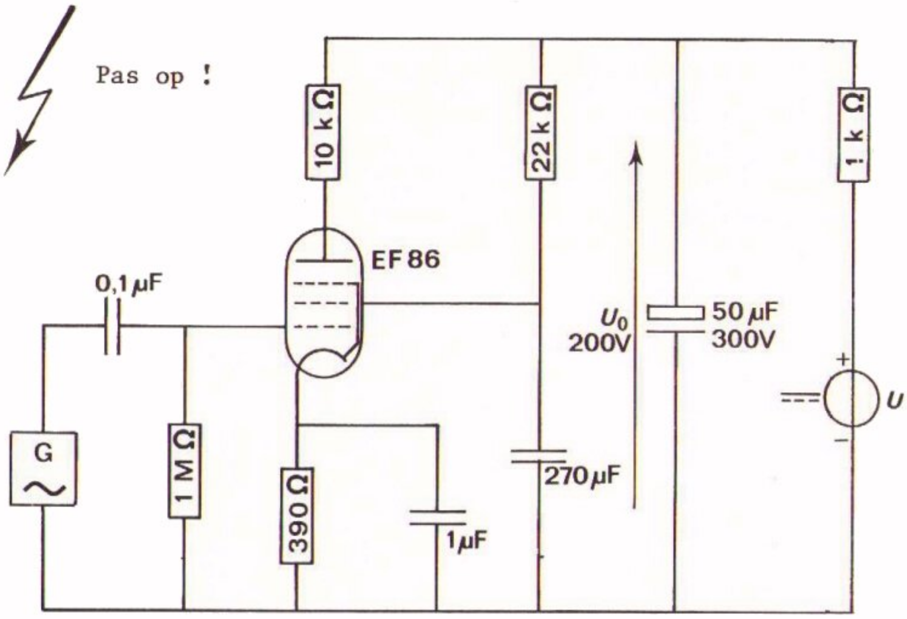


I_a
I_{g2}
U_a=U_{g2}=220V
200V
170V
I (mA)
0
10
20
30
40
50
60
70
-10
U_{g1}(V)
-8
-6
-4
-2
0

OPDRACHT: METING AAN EEN VERSTERKER

De voorafgaande speurtocht naar fouten gaan we nu in de praktijk beoefenen.

In het klaslokaal zijn een aantal oefenpanelen aanwezig, waarop onderstaande schakeling is gemonteerd.

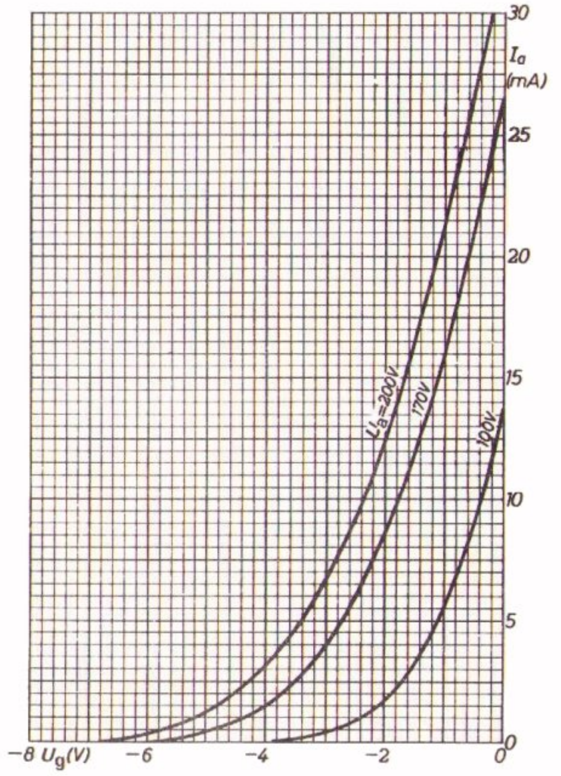


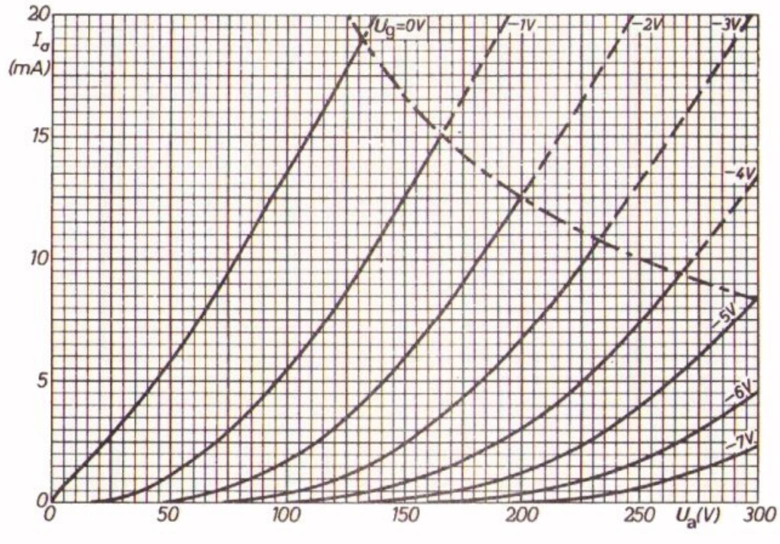
In elke schakeling zijn bewust één of meer fouten gemaakt. Met Uw partner moet U die fout of fouten opsporen. U kunt daarbij gebruik maken van een universeelmeter en een scoop. Bovendien zijn op blad B315.13 en 14 een aantal buisgegevens samengevat.

- Voer de controle op dezelfde systematische wijze uit als op de voorafgaande bladen.

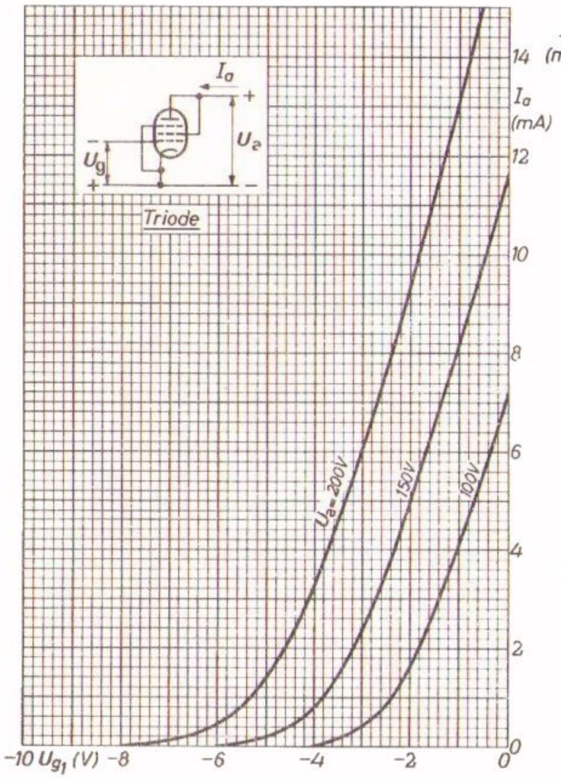
- Noteer op blad B315.15 welke fouten U hebt gevonden en waaraan U deze geconstateerd hebt.

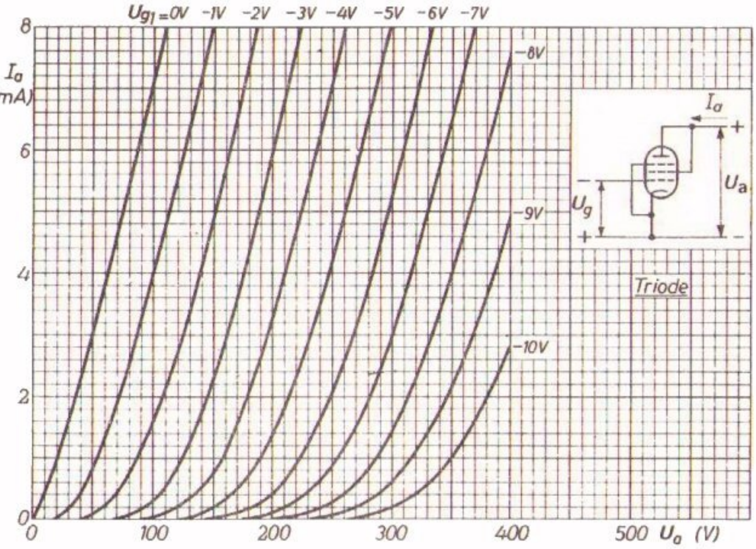
PCC 85

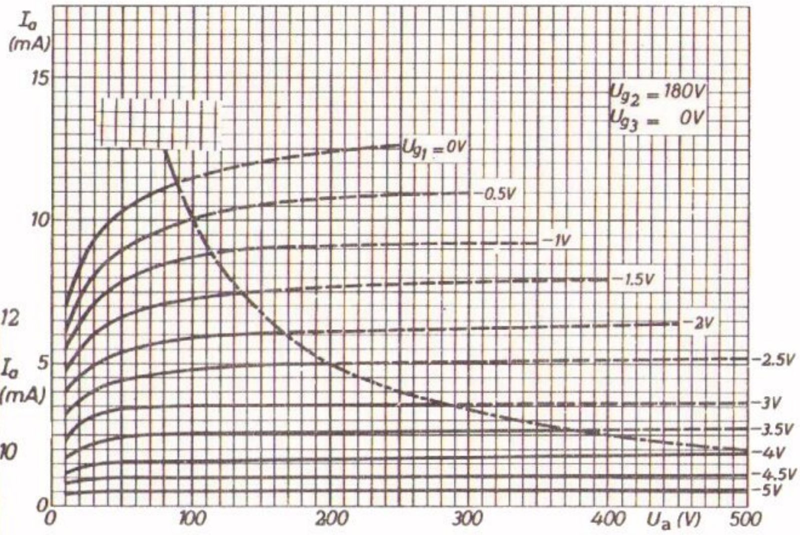

30
I_a
(mA)
25
20
15
10
5
0
U_a=200V
170V
100V
−8 U_g(V)
−6
−4
−2
0

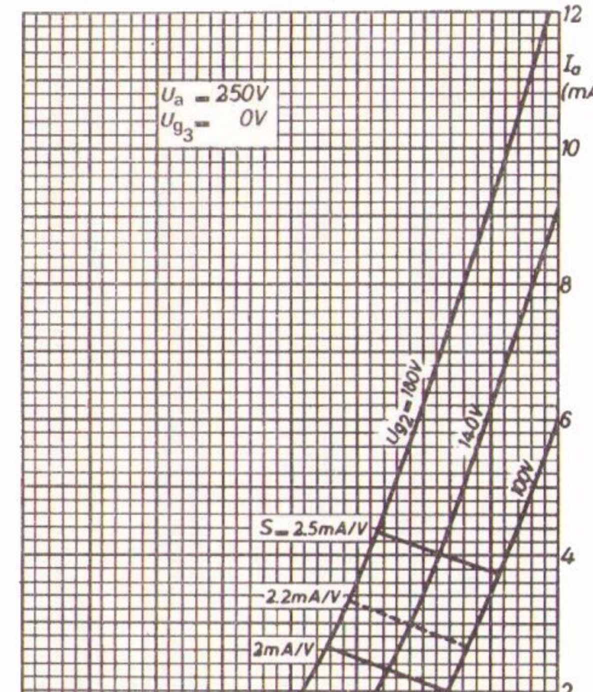

20
I_a
(mA)
15
10
5
0
U_g=0V
−1V
−2V
−3V
−4V
−5V
−6V
−7V
0
50
100
150
200
250
U_a(V)
300

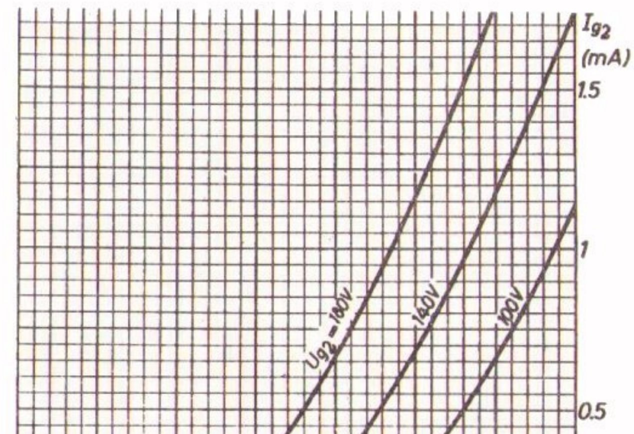
EF 86


Triode
I_a
U_a
U_g
$U_a = 200V$
150V
100V
I_a (mA)
14
12
10
8
6
4
2
0
-10 U_{g_1} (V) -8
-6
-4
-2
0


U_{g_1} = 0V -1V -2V -3V -4V -5V -6V -7V
-8V
-9V
-10V
I_a (mA)
8
6
4
2
0
Triode
I_a
U_a
U_g
0 100 200 300 400 500 U_a (V)


I_a (mA)
15
10
5
0
U_{g_2} = 180V
U_{g_3} = 0V
U_{g_1} = 0V
-0.5V
-1V
-1.5V
-2V
-2.5V
-3V
-3.5V
-4V
-4.5V
-5V
0 100 200 300 400 U_a (V) 500


U_a = 250V
U_{g_3} = 0V
U_{g_2} = 180V
140V
100V
S = 2.5mA/V
2.2mA/V
2mA/V
1.5mA/V
1mA/V
I_a (mA)
12
10
8
6
4
2
0
-8 U_{g_1} (V) -6
-4
-2
0


I_{g_2} (mA)
1.5
1
0.5
0
U_{g_2} = 180V
140V
100V
U_{g_1} (V) -6
-4
-2
0

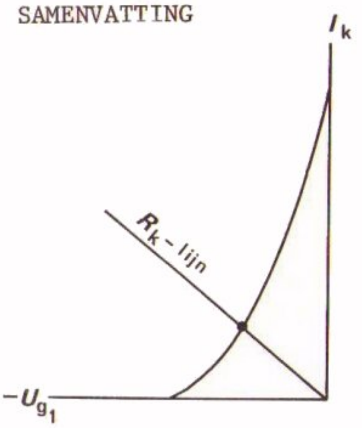
GEVONDEN FOUTEN

In meting A:

In meting B:

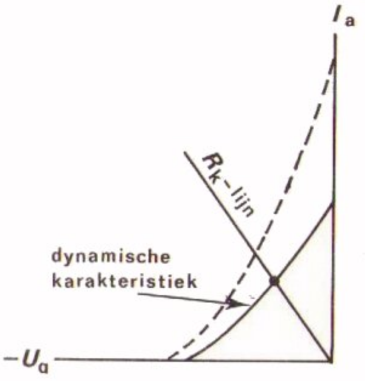
In meting C:

SAMENVATTING



Voor het bepalen van de instelling bij de pentode wordt gebruik gemaakt van de R_k - lijn die in de I_k - U_{g1} - karakteristiek getekend wordt.

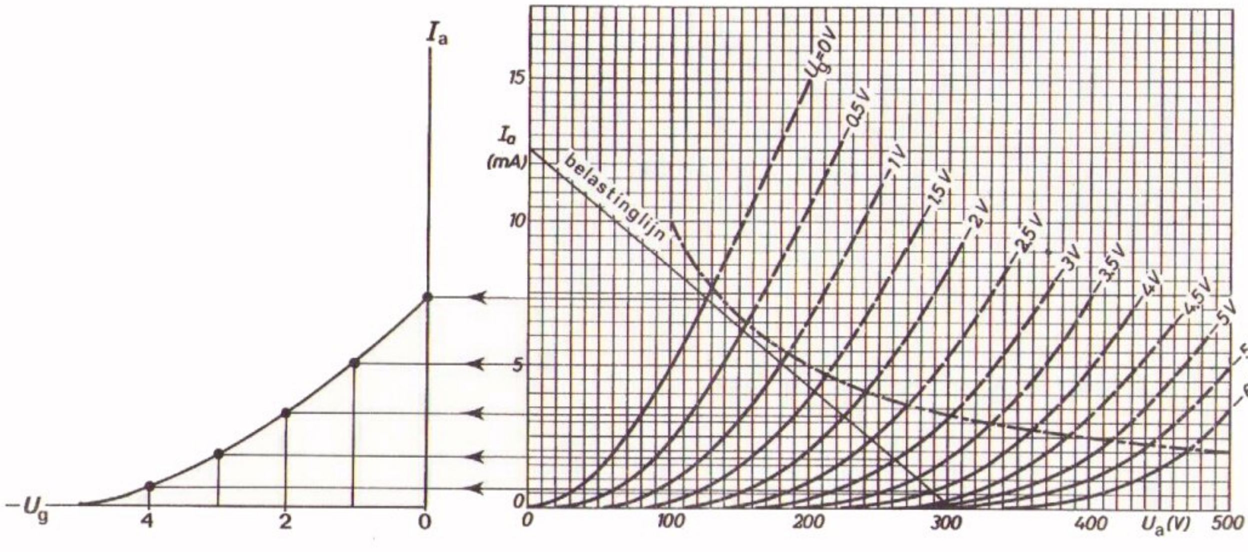
De instelling wordt bepaald door het snijpunt van de R_k - lijn met de I_k - U_{g1} - karakteristiek.



Bij de triode moet gebruik worden gemaakt van de dynamische I_a - U_g - karakteristiek.

Naarmate $I_a.R_a$ groter is, wijkt dynamische karakteristiek meer af van de statische karakteristiek.

De dynamische karakteristiek wordt geconstrueerd met behulp van de belastinglijn en de uitgangskarakteristiek.



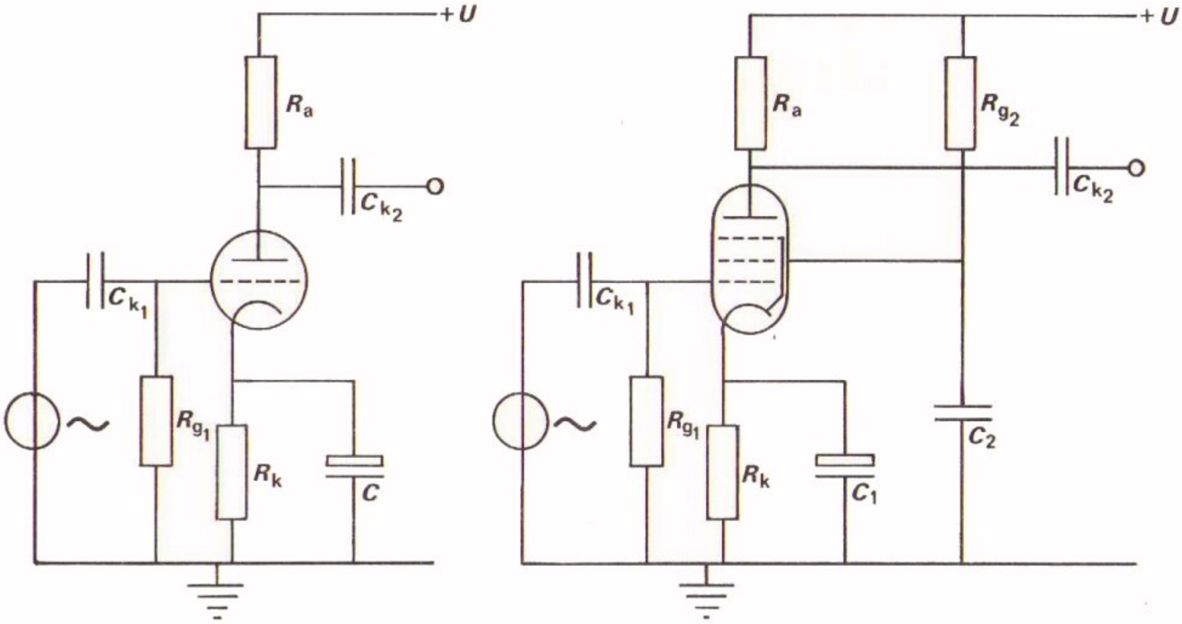
Bij het zoeken naar fouten in een schakeling zijn drie fasen te onderscheiden.

- Controle "op het oog": zijn er direct zichtbare montagefouten?
- Controle op de instelling: zijn de juiste gelijkspanningen en stromen aanwezig?
- Controle op de werking: werkt de schakeling zoals te verwachten is, als er wisselspanning wordt toegevoerd?

B 316

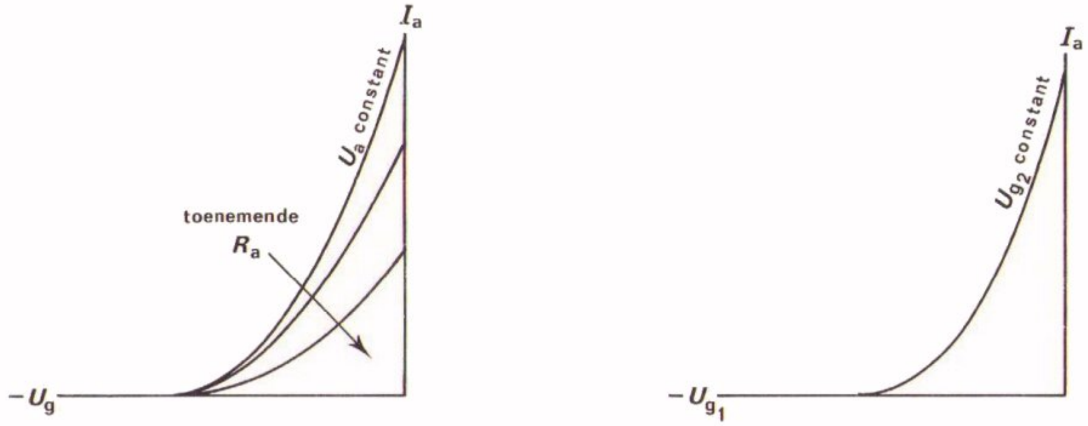
HERHALING TRIODE EN PENTODE

We hebben nu het traject vacuumbuizen achter de rug. In deze les gaan we de voornaamste punten van de triode en de pentode nog eens herhalen.
In de volgende les krijgt U dan een test.
Om de test goed voor te bereiden zijn in deze les al veel oefenvragen opgenomen. De geheugensteun, die U bij de test mag gebruiken, bevat gegevens over codering en type-aanduiding bij de vacuumbuizen.



U ziet hier de complete schema's van een triode en een pentode als wisselspanningsversterker.
De pentodeschakeling is bijna identiek aan de triodeschakeling; het schermrooster van de pentode is voorzien van een positieve gelijkspanning.
De schakeling wordt de geaarde kathode- of kathodebasis-schakeling genoemd, omdat de kathode voor wisselspanning aan aarde ligt. De wisselspanningsversterking is gelijk aan:

$A_u = S_d \cdot R_a$ bij de triode en $A_u = S \cdot R_a$ bij de pentode



Bij de triode wordt S_d kleiner als R_a groter wordt.

Bij de pentode is $S_d = S$ omdat de karakteristiek onafhankelijk is van U_a.

TEST UZELF

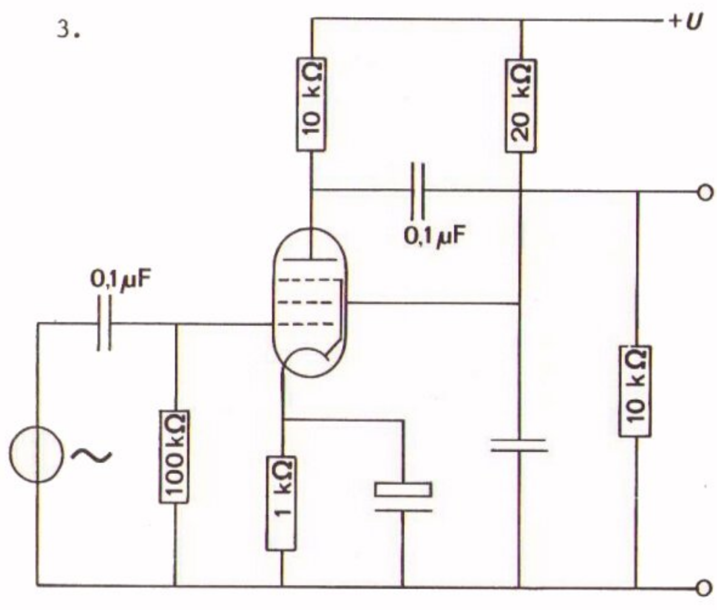
1. Een triode is als versterker geschakeld. Van de buis is gegeven S = 5 mA/V. De anodeweerstand van de versterkerbuis is R_a = 10 kΩ. De wisselspanningsversterking A_u is

< 50	O
50	O
> 50	O
niet te zeggen	O

2. Een pentode is als versterker geschakeld met een anodeweerstand van 5 kΩ. Van de buis is gegeven S = 7 mA/V. De wisselspanningsversterking A_u is

< 35	O
35	O
> 35	O
niet te zeggen	O

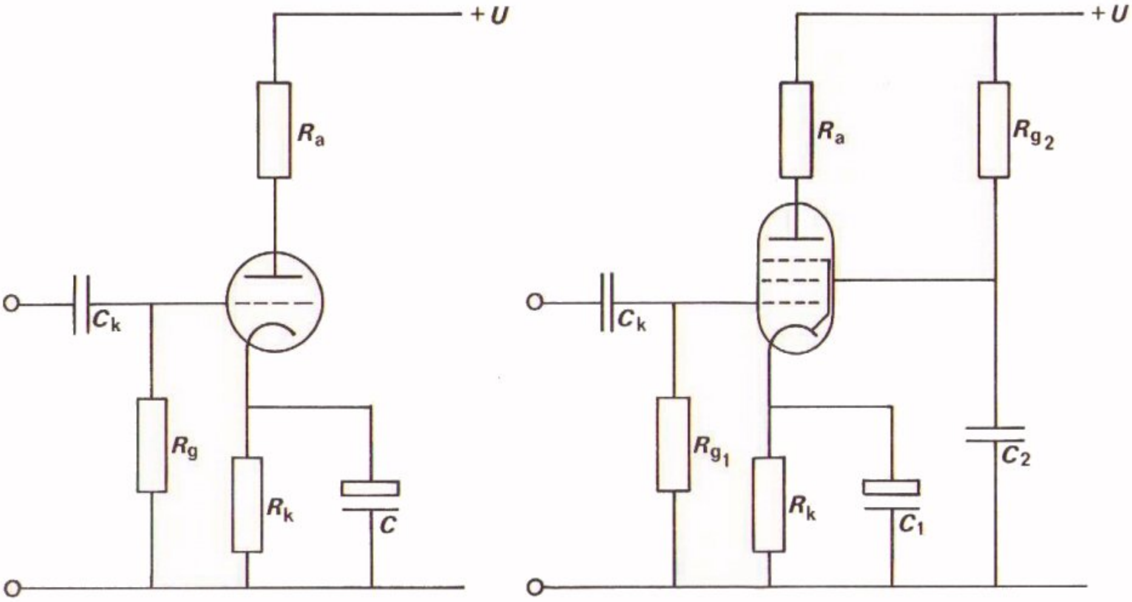
3.



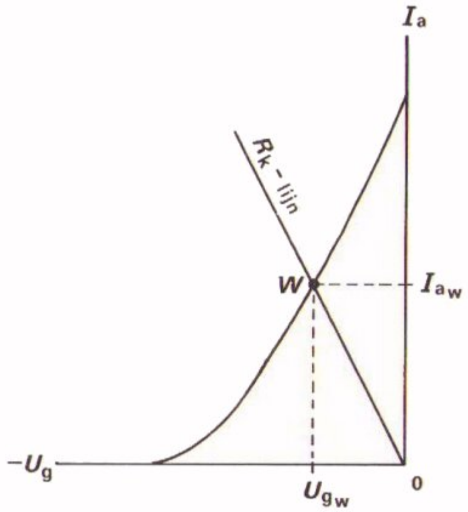
Van de gebruikte pentode in deze schakeling is gegeven S = 8 mA/V.

Hoe groot is de wisselspanningsversterking?

A_u = ☐



Voor triode en pentode wordt gebruik gemaakt van de zogenaamde automatische negatieve instelling van het rooster. Door middel van de kathodeweerstand wordt de kathode positief gemaakt ten opzichte van het stuurrooster.

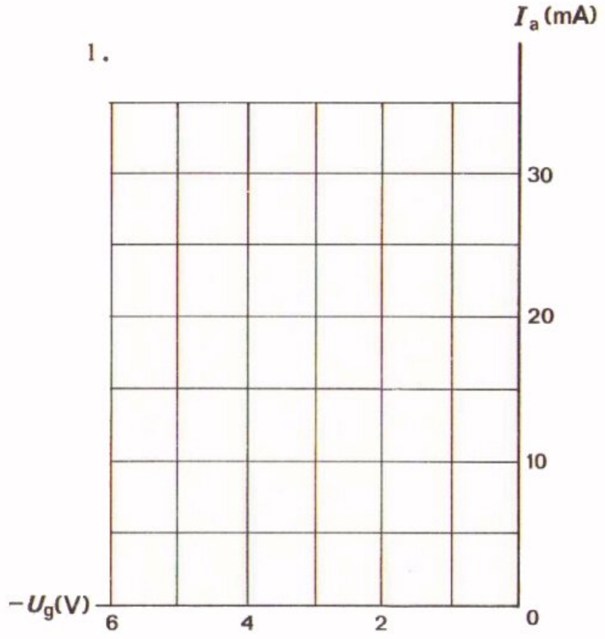


De instelling kan worden bepaald door de R_k - lijn te trekken in de overdrachtskarakteristiek.
Voor de triode moet de dynamische karakteristiek worden gebruikt.

De kathodeweerstand wordt vaak ontkoppeld om vermindering van de versterking te voorkomen.
Bij de pentode moet ook R_{g2} worden ontkoppeld als men vermindering van A_u wil voorkomen.

TEST UZELF

1.



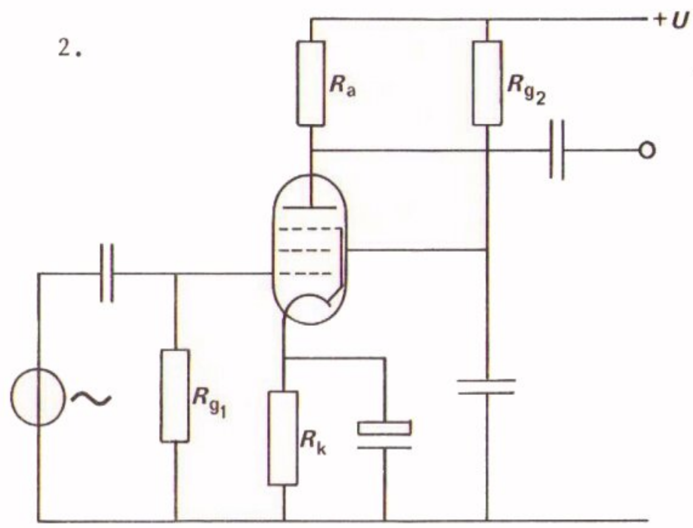
Teken in deze figuur de R_k - lijn voor:

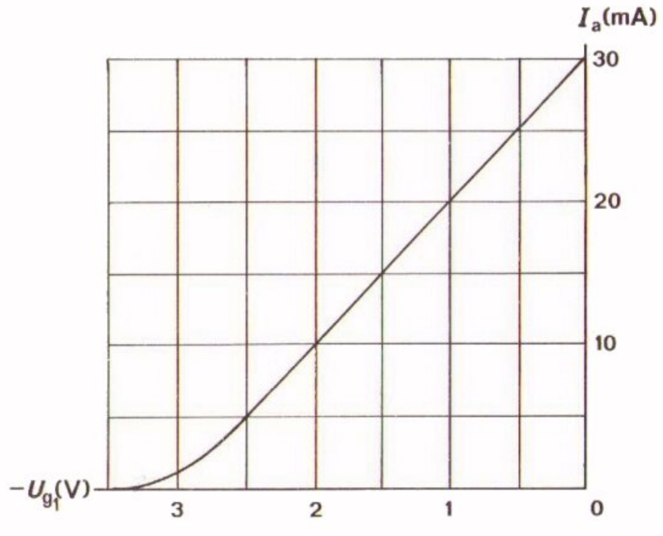
R_k = 150Ω

R_k = 1 kΩ

R_k = 5,6 kΩ

2.





In deze schakeling is een pentode gebruikt die op U_{g1} = -1,5 V is ingesteld.

- Teken de R_k - lijn in de karakteristiek.

- Hoe groot is R_k?

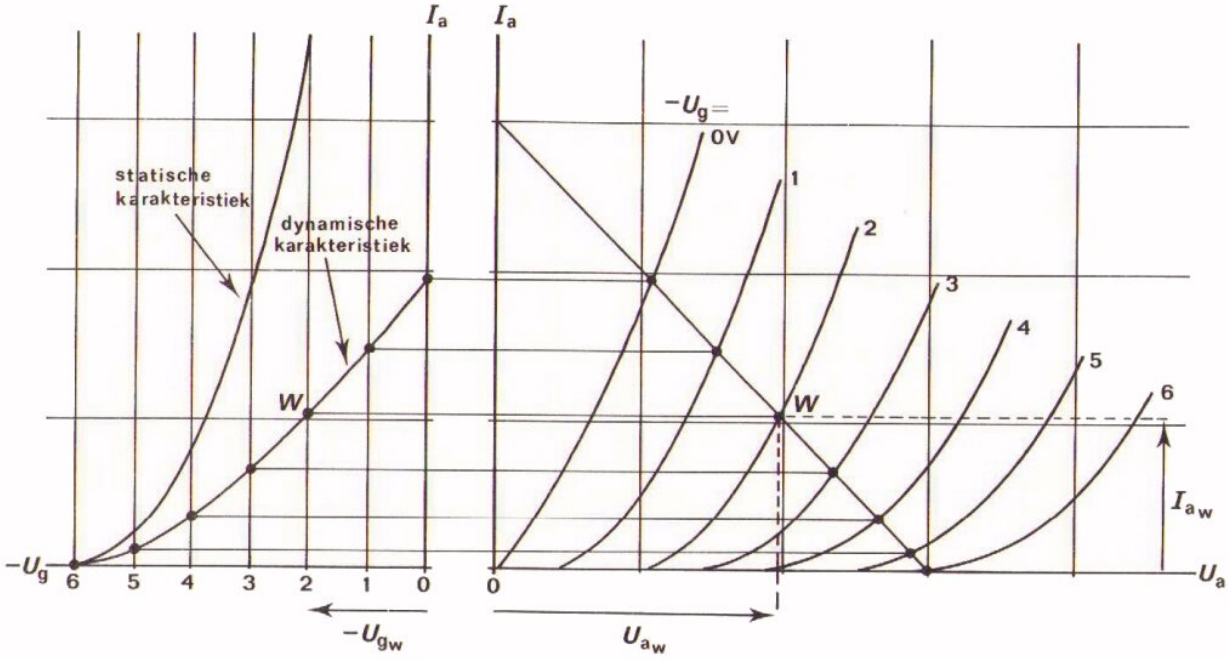
  R_k = [ ]

- Bepaal in de karakteristiek de steilheid tussen U_g = -1 V en U_g = -2 V.

  S = [ ]

- Hoe groot moet R_a gekozen worden om een versterking A_u = 25 te halen?

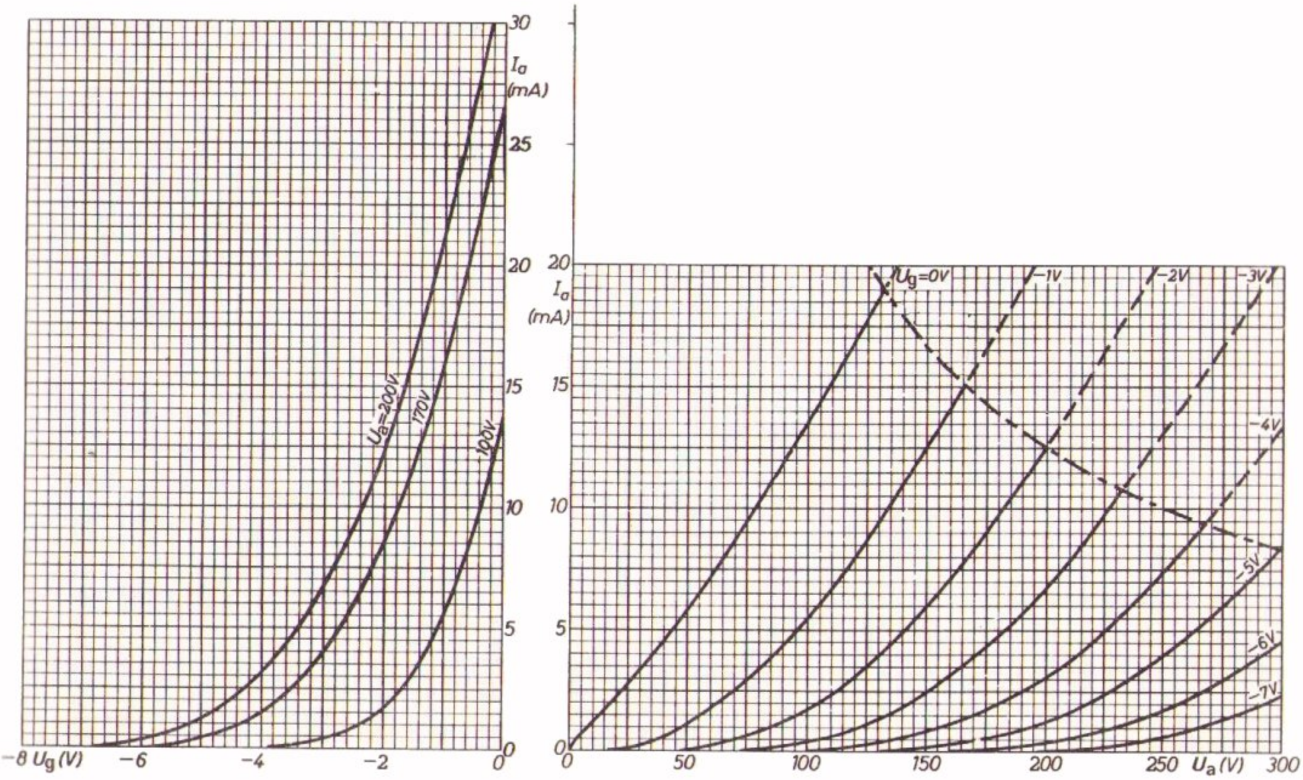
  R_a = [ ]



Hier zijn nog eens de beide triode karakteristieken getekend. De belastinglijn in de uitgangskarakteristiek komt overeen met de dynamische overdrachtskarakteristiek.
Door overhalen van een aantal punten uit de I_a - U_a - grafiek naar de I_a - U_g grafiek worden punten verkregen van de dynamische karakteristiek.

De versterking van wisselspanning kan ook goed uit de combinatie van beide karakteristieken worden bepaald. We behandelen dit verderop aan de hand van de karakteristieken van de pentode.

TEST UZELF



U ziet hier de beide karakteristieken van een triode.

- Teken in de uitgangskarakteristiek de belastinglijn voor U = 200 V en R_a = 8 kΩ.

- Construeer de dynamische overdrachtskarakteristiek.

- Bepaal de dynamische steilheid tussen de punten U_g = −1 V en U_g = −3 V.

S_d = ☐

- Teken de R_k - lijn die de buis instelt op U_g = −2 V.

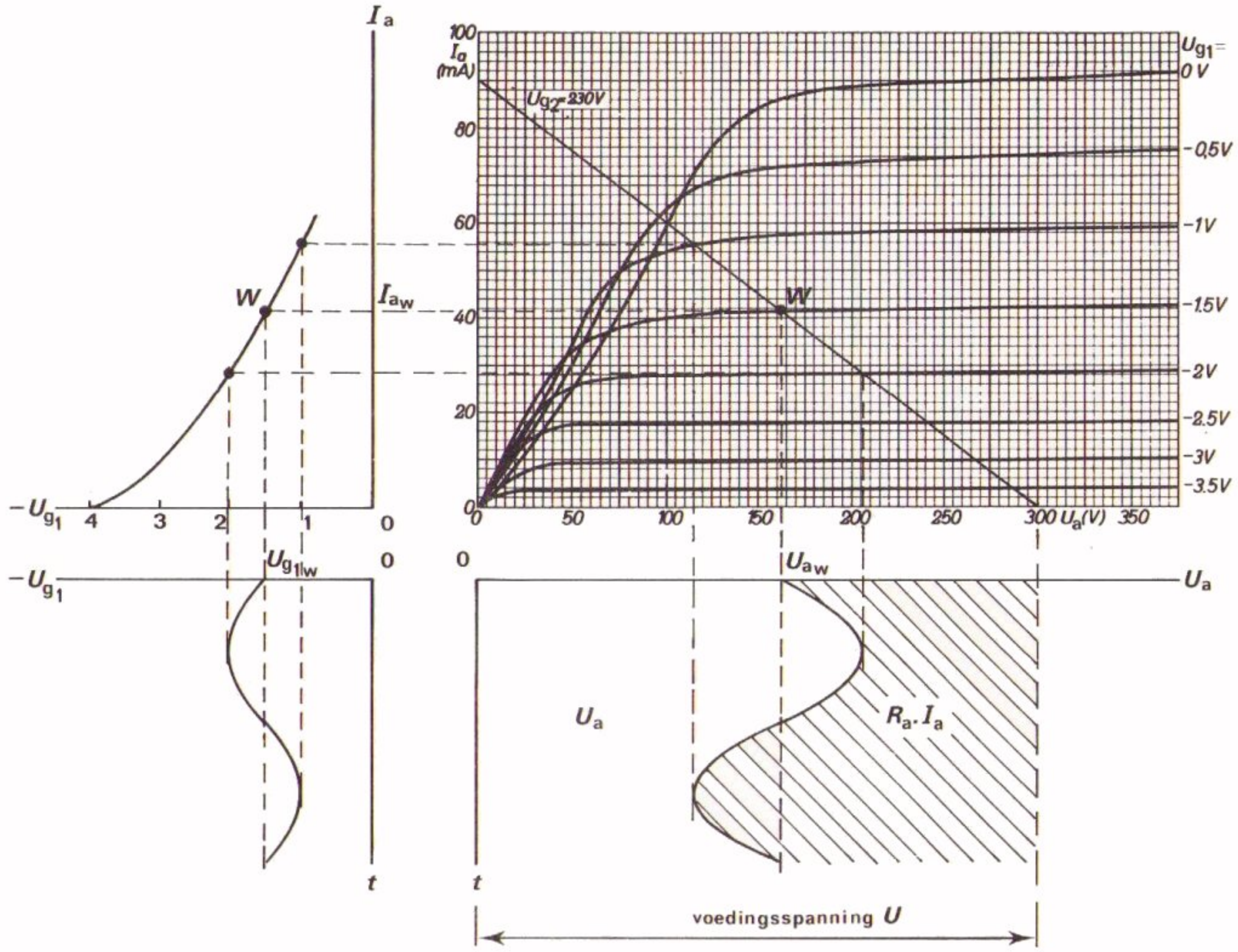
- Hoe groot is R_k? R_k = ☐

- Hoe groot is de wisselspanningsversterking A_u?

A_u = ☐

VERWERKING VAN WISSELSPANNING

Hier ziet U nog eens gedemonstreerd hoe men aan de hand van karakteristieken na kan gaan op welke wijze een ingangswisselspanning wordt verwerkt.

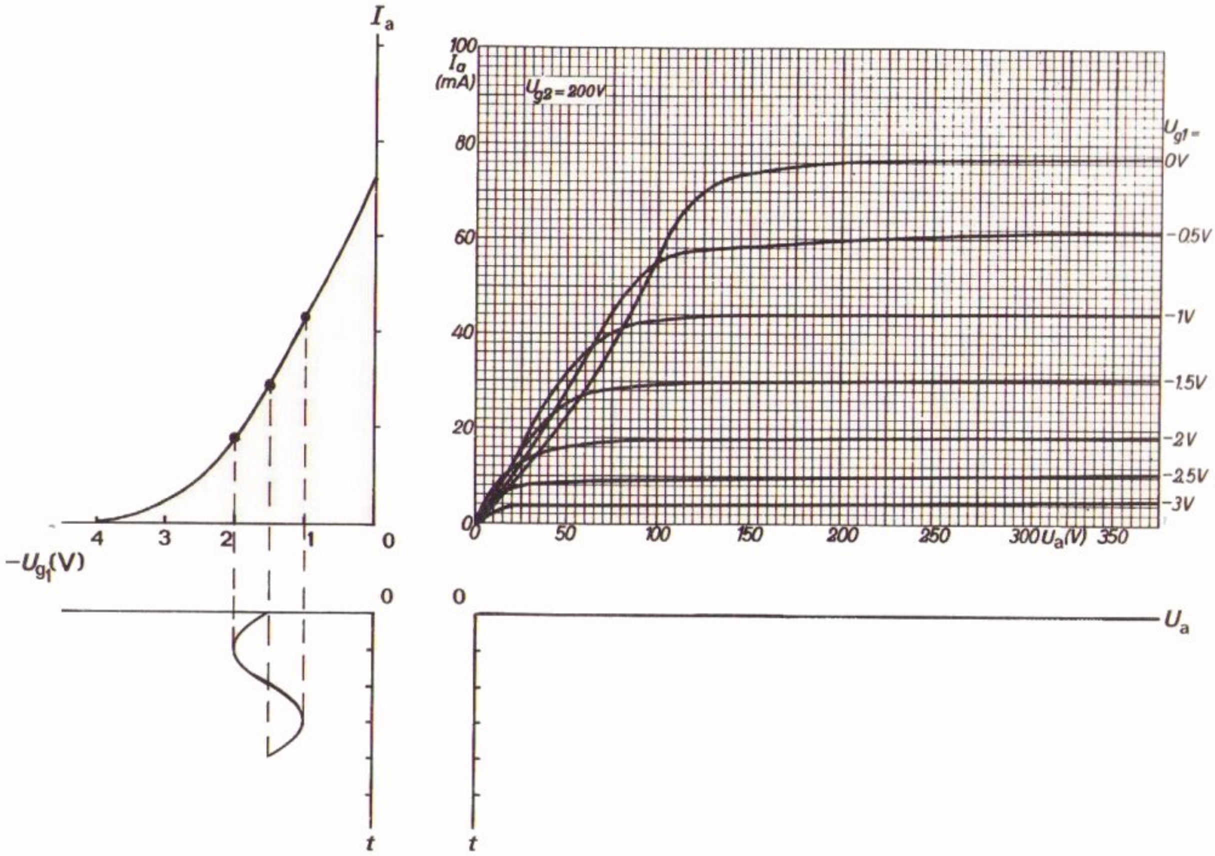


Bestudeer de figuur goed.

Snapt U hem heel precies?

Als er nog onduidelijkheden zijn, vraag dan Uw leraar om hulp.

TEST UZELF



- Teken in bovenstaande figuur de belastingslijn voor R_a = 2 kΩ en U= 300 V.

- Construeer voor de gegeven roosterspanning de bijbehorende anodespanning.

- Hoe groot is U_{at} ? U_{at} = [ ]

- Hoe groot is de wisselspanningsversterking A_u? A_u = [ ]

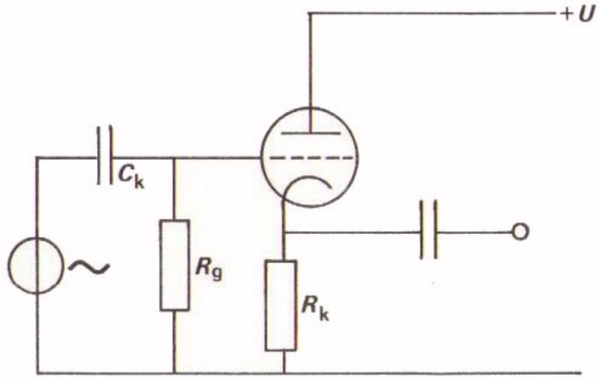
- Hoe groot is U_{aw}? U_{aw} = [ ]

- Hoe groot is de stroom door de weerstand en de spanning over de weerstand?

I_a = [ ] U_{Ra} = [ ]

DE KATHODEVOLGER

In les B314 hebben we de kathodevolger behandeld met een pentode.
We hebben toen gesteld dat de pentode als triode was geschakeld omdat g_2 en a waren doorverbonden. We gaan in deze herhaling voor de eenvoud gebruik maken van een triode.
In de praktijk wordt meestal gebruik gemaakt van pentodes.



Dit is het principeschema van de kathodevolger.
De belangrijkste eigenschappen van de kathodevolger zijn:

- Een lage uitgangsweerstand:

$$R_i = \frac{R_k \cdot \frac{1}{S_d}}{R_k + \frac{1}{S_d}} \approx \frac{R_k \cdot \frac{1}{S}}{R_k + \frac{1}{S}}$$

- Een wisselspanningsversterking die altijd iets kleiner is dan 1:

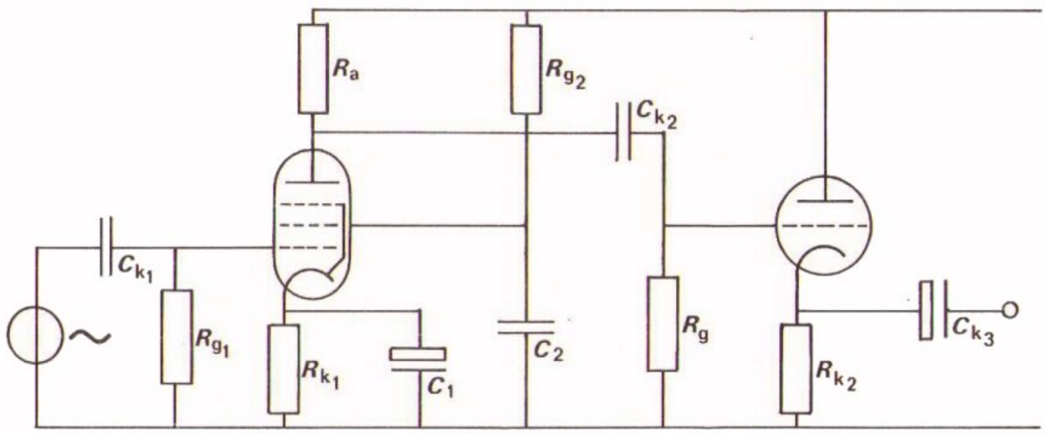
$$A_u = \frac{S_d R_k}{1 + S_d R_k} \approx \frac{S . R_k}{1 + SR_k}$$

- Geen fasedraaiing.

De benaderingen gelden bij kleine R_k.
Als R_k gesplitst is, en dus groot, gelden ze niet meer.

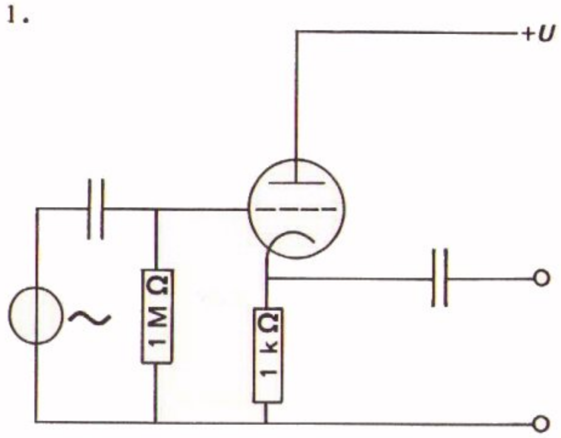
De kathodevolger wordt in hoofdzaak gebruikt om een spanningsbron met hoge R_i te veranderen in een spanningsbron met een tamelijk lage R_i.

Hier ziet U een voorbeeld van de toepassing van een kathodevolger. De uitgangsweerstand van de pentodeversterker is ongeveer gelijk aan R_a.
De uitgangsweerstand van de kathodevolger is veel kleiner.



TEST UZELF

1.



De dynamische steilheid S_d = 4 mA/V.

De uitgangsweerstand van deze schakeling is:

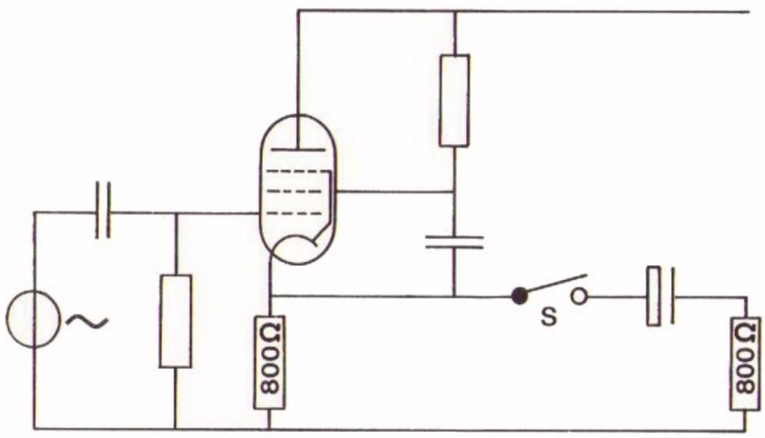
< 200 Ω O

200 Ω O

250 Ω O

> 250 Ω O

2.



De steilheid van de pentode S = 5 mA/V.

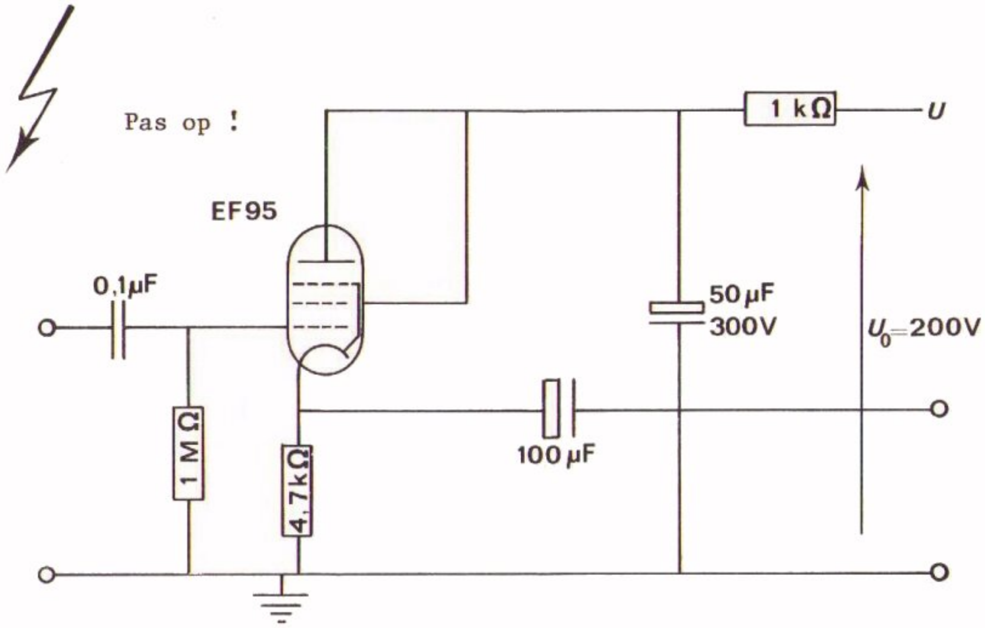
Hoe groot is de wisselspanningsversterking van deze schakeling, als S open is?

A_u =

En hoe groot bij gesloten S ?

A_u =

OPDRACHT: METING AAN EEN SCHAKELING MET EEN PENTODE



Tenslotte gaan we in deze herhalingsles nog een praktische meting uitvoeren. Bij de test moet U dit ook doen.

- Bouw deze schakeling op Uw paneel.

- Verricht nu volgende metingen.
  U kunt beschikken over: twee universeelmeters
  een L F-generator
  een scoop
  een potmeter van 2,2 kΩ

- Meet de wisselspanningsversterking bij f = 1 kHz.

A_u = [ ]

- Bepaal de anode-instelstroom. I_a = [ ]

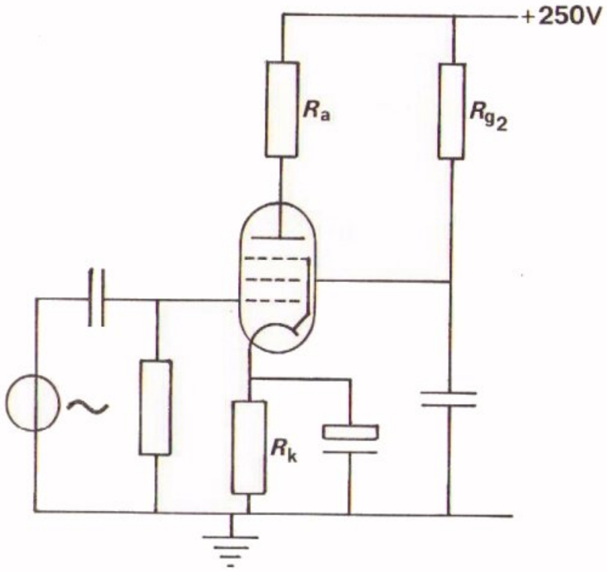
- Bepaal de kathode-instelstroom. I_k = [ ]

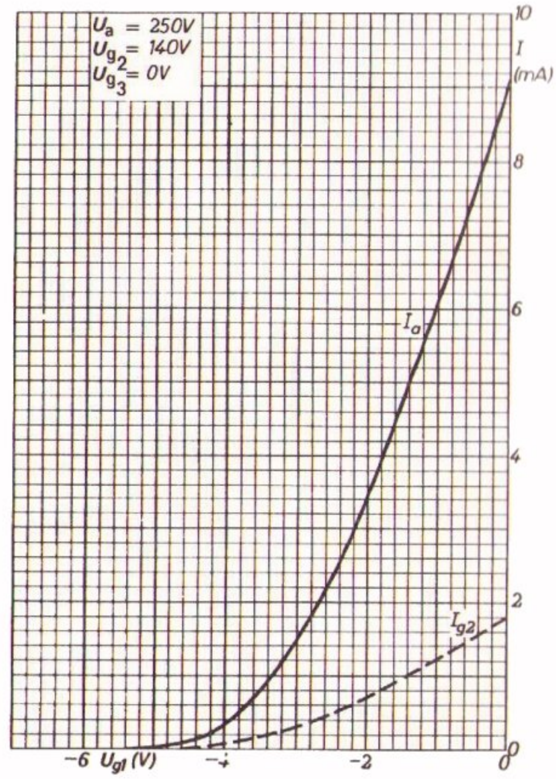
- Bepaal de uitgangsweerstand van de schakeling voor kleine ingangswisselspanning (U_t = 0,5 V).

R_i = [ ]

TEST UZELF

Hier volgt nog een oefenopgave.





- Bepaal van deze schakeling R_k als U_{g1} = −2V moet zijn.

R_k =

- Bepaal R_{g2} als U_{g2} = 140 V moet zijn

R_{g2} =

- Bepaal de steilheid in de buurt van het instelpunt voor een roosterwisselspanning u_{g1} = 1 V.

S =

- Hoe groot moet R_a zijn als bij deze instelling de wisselspanningsverstrekking 50x moet bedragen ?

R_a =

G E H E U G E N S T E U N

BUISKODERING

TYPE-AANDUIDING bestaat uit 2 of meer letters + serienummer.

- EERSTE LETTER heeft betrekking op gloeidraad

D	$U_f < 1{,}4$ V; serie- of parallelvoeding
E	$U_f = 6{,}3$ V; parallelvoeding
L	$I_f = 450$mA; serievoeding
P	$I_f = 300$mA; serievoeding
U	$I_f + 100$mA; serievoeding

- TWEEDE EN VOLGENDE LETTERS geven buistype(s) en toepassing.

A	diode (NIET voor gelijkrichter)
B	dubbele diode met gemeenschappelijke kathode
C	triode (NIET voor groter vermogen)
E	tetrode (NIET voor grote vermogens9
F	pentode (NIET voor grote vermogens)
L	tetrode of pentrode voor grote vermogens
M	afstemindicator
Y	enkele gelijkrichtdiode
Z	dubbele gelijkrichtdiode

- SERIENUMMER 3 cijfers : huis-, tuin-, of keukengebruik.

  4 cijfers : bedrijfsgebruik.

Het eerste cijfer geeft buisvoettype aan.

1	afwijkend type	
2	miniatuur	10-pens
3	octaal	8-pens
5	magnovaal	9-pens
8	noval	9-pens
9	miniatuur	7-pens

B 317

HERHALING BUIZEN

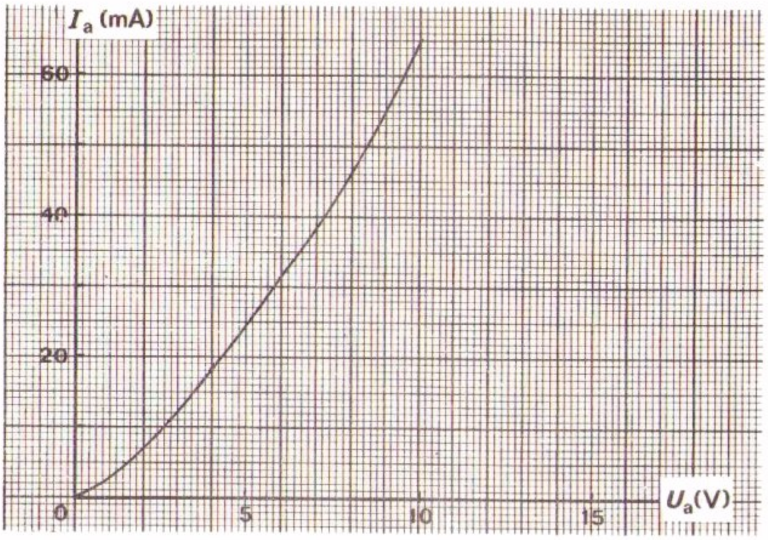
INLEIDING

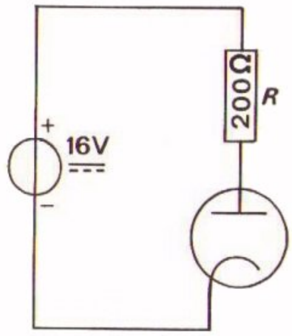
Deze herhalingsles bevat nog eens een korte terugblik op het hele buizentraject.

- Werk deze les aandachtig door.
- Ontmoet U moeilijkheden, vraag dan Uw leraar om raad.
- Deze les bevat ook de GEHEUGENSTEUNEN met de kodering en type-aanduiding.

TEST UZELF

1.



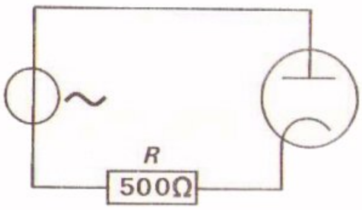


Trek de belastinglijn en bepaal: I_a =

U_a =

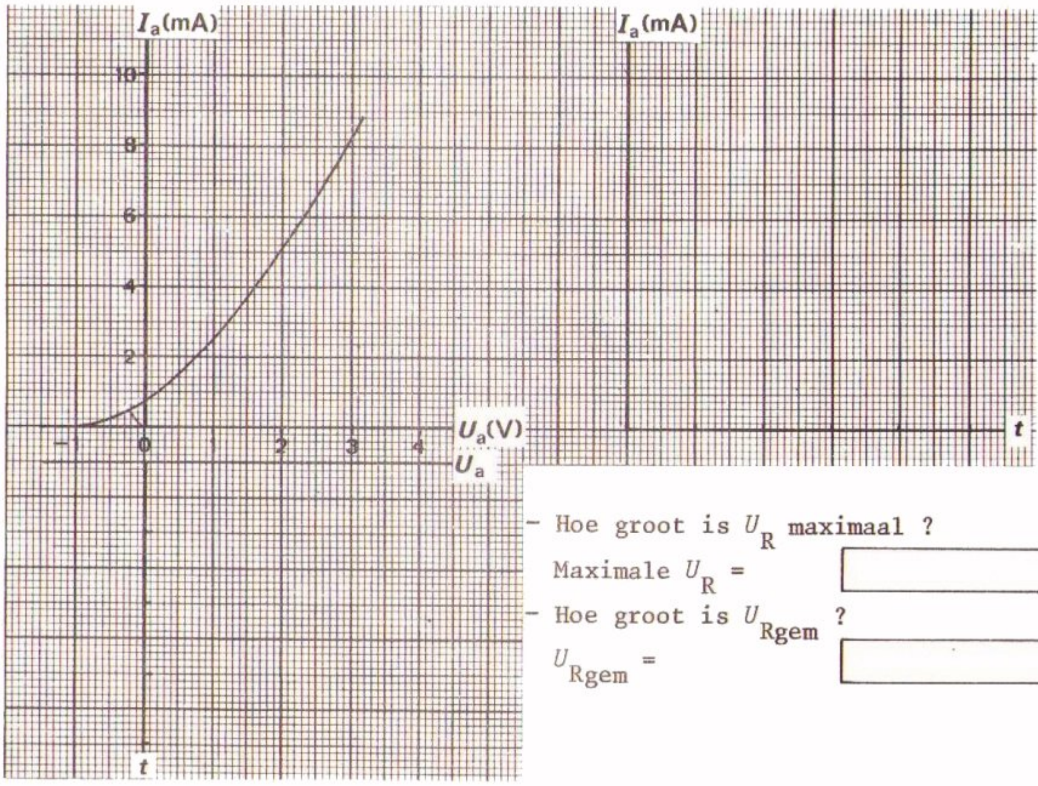
U_r =

2.



Deze serieschakeling van de diode en de weerstand, wordt aangesloten op een wisselspanning met U_t = 4 V.

- Bepaal de dynamische karakteristiek.
- Bepaal met behulp daarvan de stroom die in de schakeling loopt.



- Hoe groot is U_R maximaal ?

Maximale U_R =

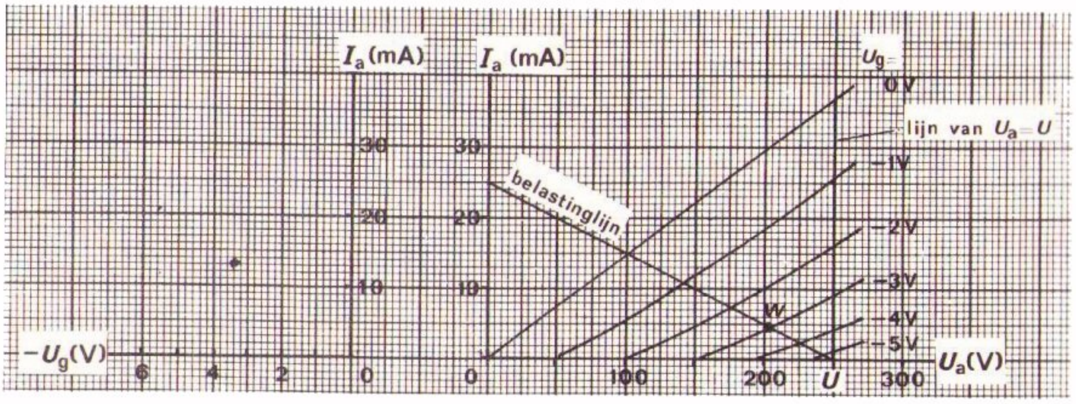
- Hoe groot is U_{Rgem} ?

U_{Rgem} =

VERSTERKING MET EEN TRIODE.

Aan de hand van de volgende oefeningen herhalen we enige begrippen van de triode.

3.



Hier ziet U de uitgangskarakteristieken en de belastinglijn van een triode in kathodebasisschakeling.

Teken zelf de statische- en de dynamische I_a - U_g - karakteristiek.

Bepaal ook S en S_d als U_{gt} = 2 V.

S = [mA/V] S_d = [ ]

Hoe groot zijn R_a en A_u ?

R_a = [ ] A_u = [ ]

4. Als men in de vorige opgave de R_a tweemaal zo KLEIN maakt, dan wordt

de S_d [groter/kleiner]

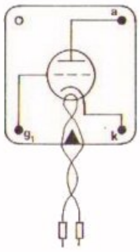
de A_u [groter/kleiner]

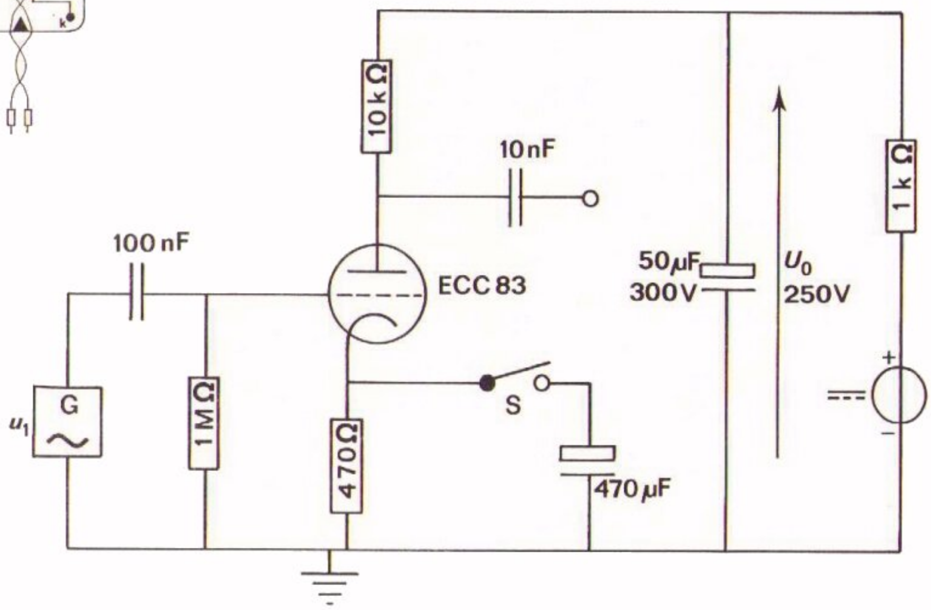
de I_{at} bij U_{gt} = 2 V [groter/kleiner]

OPDRACHT: METEN AAN EEN TRIODESCHAKELING



Pas op !





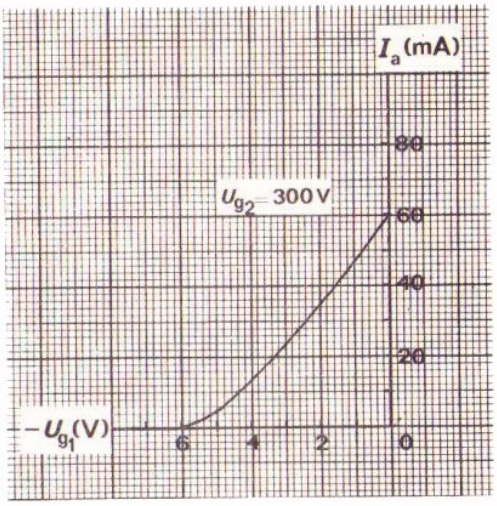
- Bouw deze schakeling.
- Stel de voedingsspanning in op 250 V.
- Meet met een universeelmeter.

  U_g = ______ U_a = ______
- Bepaal I_a. I_a = ______
- Voer U_t = 0,5 V toe bij 1 kHz.
  Houd S open.
- Meet met de scoop:

  U_{kt} = ______ U_{at} = ______
- Bepaal A_u =
- Sluit S en meet:

  U_{at} = ______
- Bepaal nu weer A_u = ______
- Bepaal S_d = ______

5.



Een kathodebasisschakeling met een pentode heeft een anodeweerstand R_a = 12 kΩ

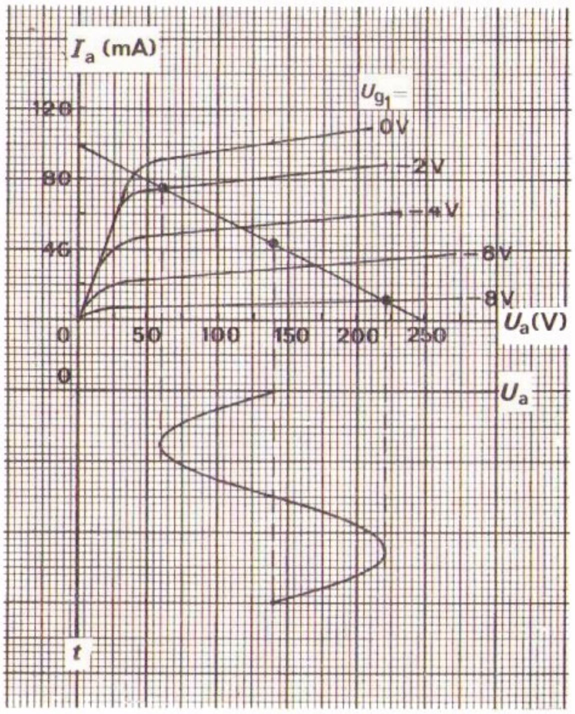
De buis heeft een nevenstaande overdrachtskarakteristiek en is ingesteld op U_{g1} = -4V. Voedingsspanning = 300 V.

Hoe groot is U_a ? U_a = [ ]

Hoe groot is de versterking A_u ?

A_u ≃ [ ]

6.



Hiernaast ziet U de belastinglijn en het verloop van U_a van een kathodebasisschakeling voor een pentode.

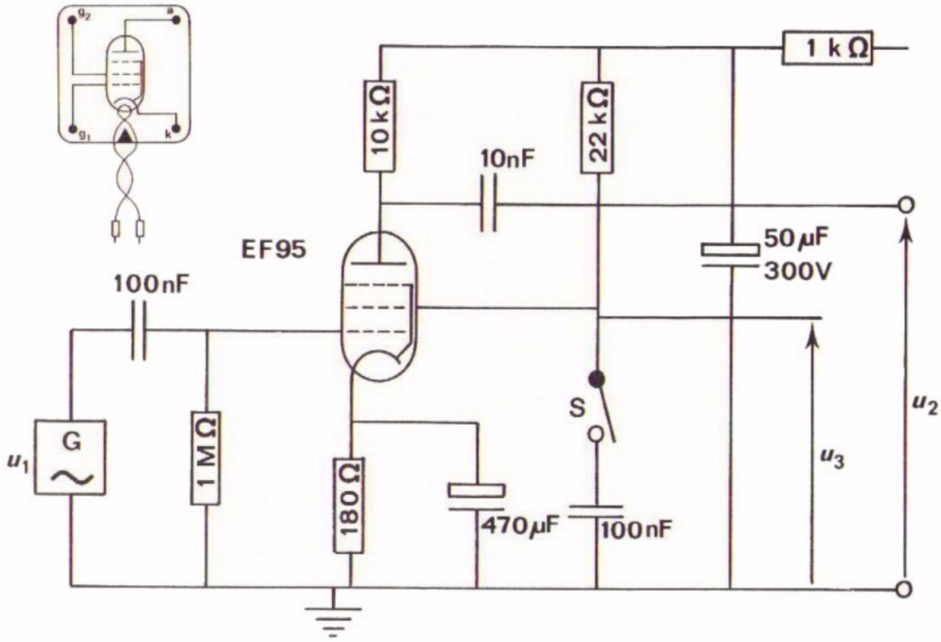
Ga na hoe groot volgende grootheden zijn:

$U_{voeding}$ = [ ] V

- U_{g1} = [ ] V
- U_{g1t} = [ ] V
- U_a = [ ] V
- I_a = [ ] mA
- I_{at} = [ ] mA
- A_u = [ ]
- S = [ ] mA/V

Schets hiernaast het schema van een kathodebasisschakeling voor een pentode.

OPDRACHT: METEN AAN EEN PENTODESCHAKELING





Pas op !

- Bouw deze schakeling.
- Stel de voedingsspanning in op 200 V.
  Houd S open.
- Meet met een universeelmeter.

U_{g1} = [ ] , U_{g2} = [ ]

U_a = [ ]

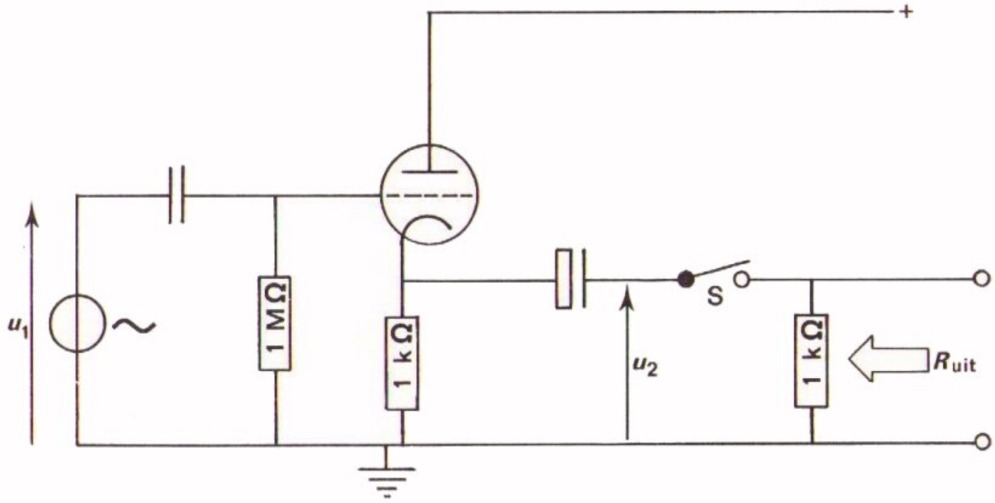
- Voer U_t = 0,5 V - 1 kHz toe.
  S blijft open.

- Meet nu met scoop: U_{2t} = [V] en U_{3t} = [V]
- u_2 is [wel/niet] in fase met u_1.
  u_3 is [wel/niet] in fase met u_1.
- Sluit nu S en meet opnieuw U_{2t}. U_{2t} = [ ]
- Hieruit volgt S = [ ]

DE KATHODEVOLGER

We schenken in volgende opgaven nog enige aandacht aan de kathodevolger.

7.



De steilheid van de gebruikte triode $S_d \simeq S = 4$ mA/V.

- De spanningsversterking A_u is: groter dan 1
  gelijk aan 1
  kleiner dan 1

- Als men S sluit dan wordt A_u : niet kleiner
  tweemaal zo klein
  minder dan 2x zo klein

- Bij open S geldt:

R_{uit} = ☐ R_{ing} = ☐

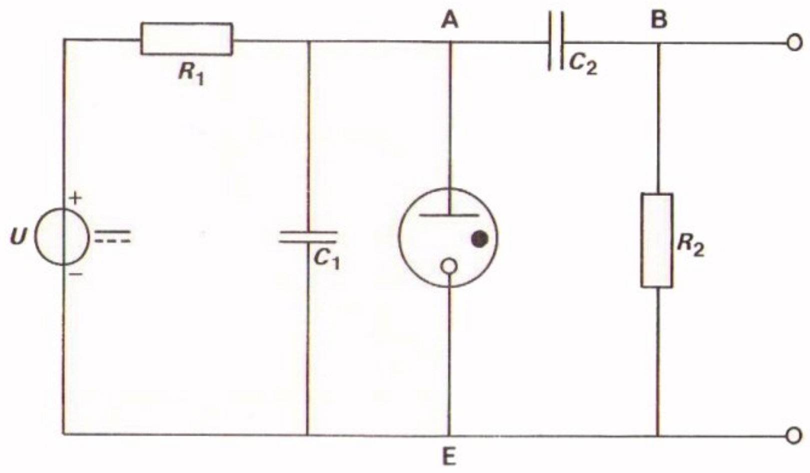
A_u = ☐

- Bij gesloten S geldt:

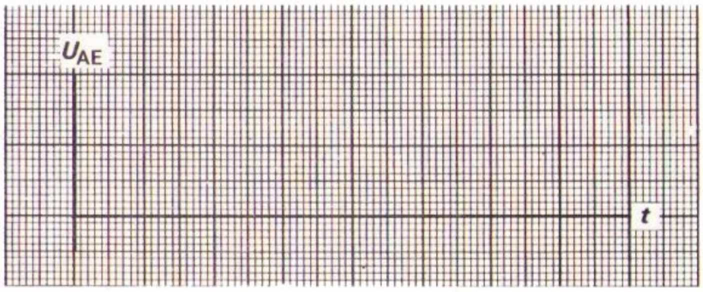
R_{uit} = ☐ R_{ing} = ☐

A_u = ☐

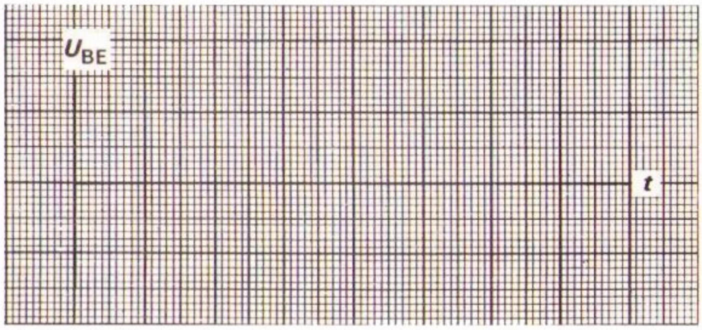
8.



- Schets het verloop van de spanning tussen de punten A en E.



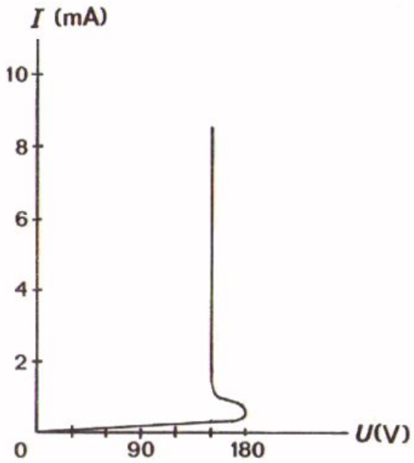
- Schets het verloop van de spanning tussen de punten B en E.

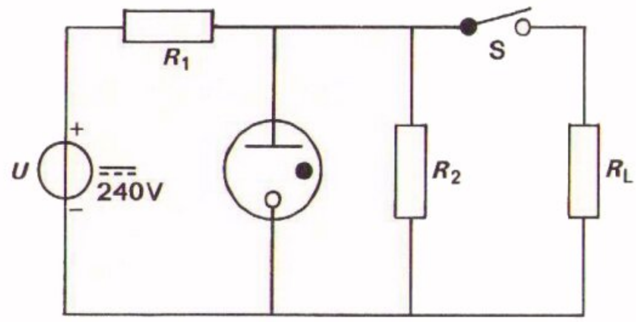


- Welke componenten bepalen de frequentie van de opgewekte zaagtand-spanning ?

$R_1 \cdot C_1$ en $R_2 \cdot C_2$		O
$R_1 \cdot C_1$ alleen		O
$R_2 \cdot C_2$ alleen		O

9.





Bij geopende *S* moet de diode ontsteken. Daartoe moet de verhouding

$\frac{R_2}{R_1 + R_2}$ groter zijn dan [ ]

Als *S* gesloten wordt, zal de diode [meer/minder] stroom gaan voeren.

Als bij geopende *S* de R_2 weggenomen wordt, zal de diode

geen stroom meer voeren O

minder stroom gaan voeren O

evenveel stroom blijven voeren O

meer stroom gaan voeren O

G E H E U G E N S T E U N

BUISKODERING

TYPE-AANDUIDING bestaat uit 2 of meer letters + serienummer.

- EERSTE LETTER heeft betrekking op gloeidraad

D	U_f < 1,4 V; serie- of parallelvoeding
E	U_f = 6,3 V; parallelvoeding
L	I_f = 450mA; serievoeding
P	I_f = 300mA; serievoeding
U	I_f + 100mA; serievoeding

- TWEEDE EN VOLGENDE LETTERS geven buistype(s) en toepassing.

A	diode (NIET voor gelijkrichter)
B	dubbele diode met gemeenschappelijke kathode
C	triode (NIET voor groter vermogen)
E	tetrode (NIET voor grote vermogens9
F	pentode (NIET voor grote vermogens)
L	tetrode of pentrode voor grote vermogens
M	afstemindicator
Y	enkele gelijkrichtdiode
Z	dubbele gelijkrichtdiode

- SERIENUMMER 3 cijfers : huis-, tuin-, of keukengebruik.

  4 cijfers : bedrijfsgebruik.

Het eerste cijfer geeft buisvoettype aan.

1 afwijkend type	
2 miniatuur	10-pens
3 octaal	8-pens
5 magnovaal	9-pens
8 noval	9-pens
9 miniatuur	7-pens